This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

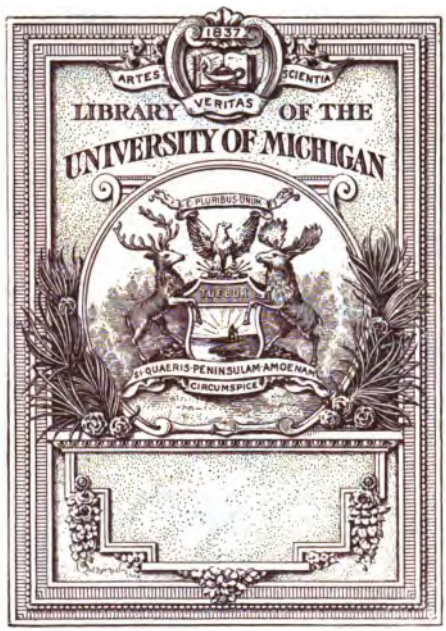
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

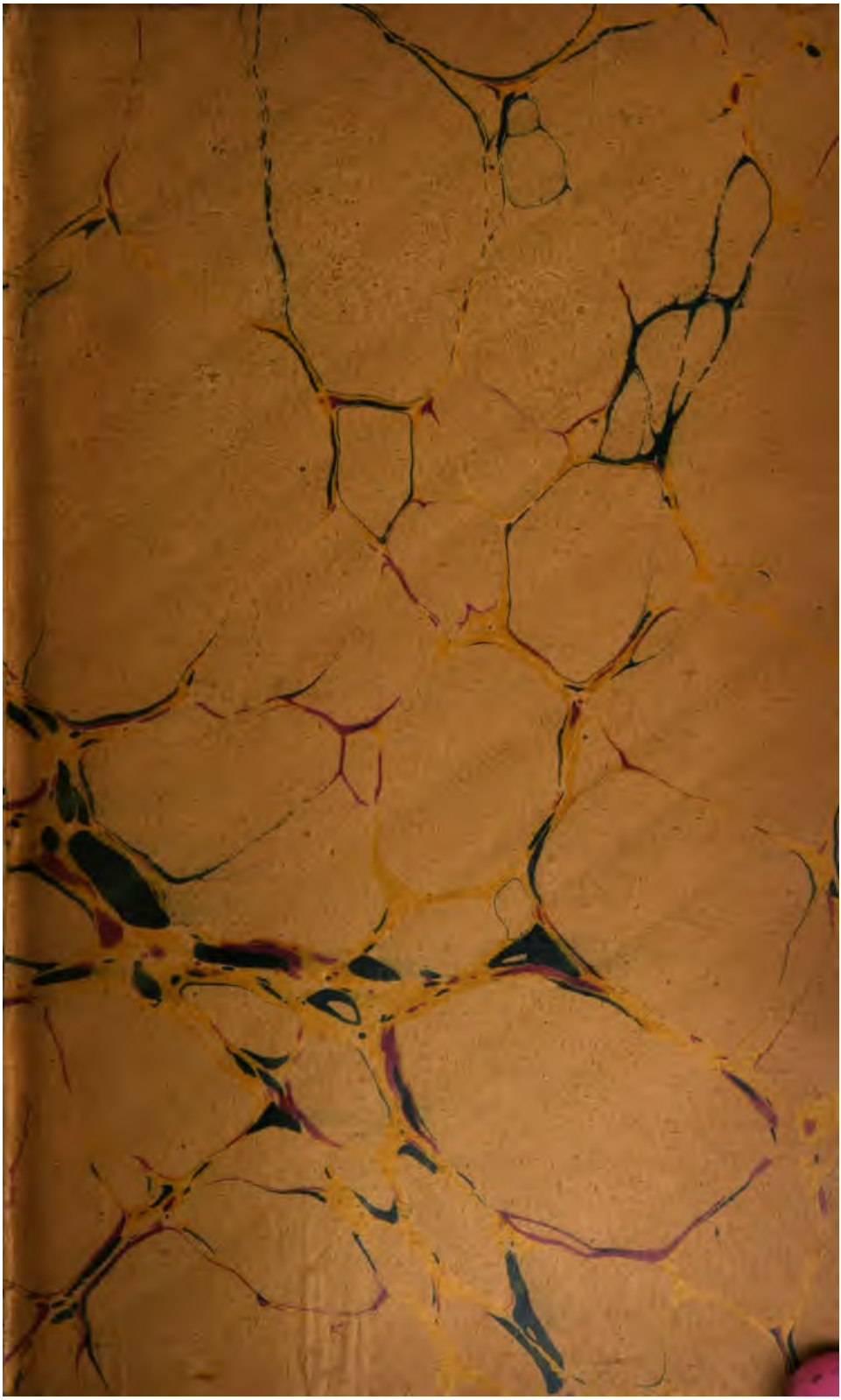
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



T
2
.P23

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

DES ARTS ET MÉTIERS.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

DES ARTS ET MÉTIERS,

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS.

2e SÉRIE. — TOME VI.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1894

(Tous droits réservés.)

ANNALES
DU
CONSERVATOIRE
DES ARTS ET MÉTIERS.

LES APPLICATIONS DE LA PERSPECTIVE AU LEVER DES PLANS.

VUES DESSINÉES A LA CHAMBRE CLAIRE. — PHOTOGRAPHIES.

QUATRIÈME ARTICLE [1].

Par le Colonel A. LAUSSEDAT.

RÉSULTATS.

II. — Résultats obtenus à l'étranger depuis 1865.

Faits généraux. — L'usage de la Photographie pour faciliter la description topographique des pays connus ou celle des contrées nouvellement explorées est aujourd'hui devenu général. Les voyageurs et les géographes ne peuvent pour

[1] *Voir* 2e Série, t. II, p. 294 à 324, t. III, p. 313 à 356, et t. V, p. 283 à 322.

178885

ainsi dire plus se passer d'y recourir, tant les lecteurs sont accoutumés à trouver leurs relations et leurs ouvrages remplis d'illustrations instructives.

Les explorateurs pacifiques n'ont d'ailleurs été ni les seuls ni les premiers à mettre une semblable ressource à profit; il y a longtemps que les militaires les mieux inspirés ont cherché à se procurer des vues fidèles du terrain sur lequel ils devaient opérer et, d'un autre côté, tout le monde connaît les tableaux célèbres de sièges et de batailles qui ont été exécutés le plus souvent avec une grande recherche de précision, en ce qui concerne tout au moins le théâtre des événements.

La Photographie, en donnant des images à la fois rigoureuses et complètes du terrain, allait fournir presque sans peine un moyen expéditif de recueillir des informations précises aux officiers d'État-major et, plus tard, aux artistes chargés de perpétuer le souvenir de faits de guerre importants.

Aussi voit-on, dès que cet art commence à devenir populaire et presque partout où des luttes sont engagées, des photographes officiels ou des photographes amateurs accompagner les armées, depuis la campagne de Crimée jusqu'à celle du Mexique et à la guerre de la sécession américaine, pour ne citer que des faits déjà anciens.

Les Anglais aussi bien que les Français, les Américains surtout ont pressenti, aux époques dont il s'agit, les services que le nouvel art, auquel il n'y avait rien à comparer dans le passé, était appelé à rendre aux militaires. Mais tous n'ont pas également apprécié l'intérêt des documents photographiques dont on peut dire qu'ils sont au moins aussi précieux et sûrement plus utilisables en temps de paix qu'en temps de guerre, pour les ingénieurs et pour les officiers qui s'occupent de Topographie.

La Métrophotographie proprement dite ne paraît, en effet, avoir été connue que depuis peu de temps en Angleterre et en Amérique, à en juger par la littérature spéciale de ces deux pays, tandis que d'assez nombreux essais, remontant à plus de quarante ans, étaient faits en France dans différentes directions et donnaient naissance à des publications plus

ou moins intéressantes restées généralement ignorées des étrangers.

Nous verrons, dans l'exposé qui va suivre, que c'est d'abord en Allemagne, puis en Italie, un peu plus tard en Autriche et enfin aux États-Unis et au Canada que la principale méthode photographique proposée pour lever les plans a été étudiée et appliquée, avec des succès divers tels toutefois qu'il existe aujourd'hui un nombre considérable de publications et d'importants travaux cartographiques en démontrant irréfutablement l'efficacité et les avantages.

En dehors des pays que nous venons de nommer, il s'en trouve sans doute beaucoup d'autres où il a été fait des essais, et nous savons personnellement, par notre correspondance, que l'on s'intéresse à la Métrophotographie en Espagne [1], en Portugal, en Belgique, en Suisse, en Grèce, en Roumanie, au Brésil et au Mexique.

Nous ne connaissons toutefois aucune publication importante faite, à ce sujet, en dehors de celles dont nous allons nous occuper et qui sont au nombre de deux ou trois seulement en langue anglaise (aux États-Unis et au Canada), de trois ou quatre en italien, mais qui deviennent légion en langue allemande pour l'Allemagne et l'Autriche-Hongrie.

Nous venons de dire que les Ouvrages écrits en langue anglaise avaient été publiés aux États-Unis et au Canada. Nous devons cependant mentionner, en passant, un article du lieutenant Davies, de l'armée anglaise, paru dans l'*United Service Gazette* du 5 mars 1892 et un Mémoire publié également en Angleterre, la même année, par M. J.-W. Harrison.

Dans l'article du lieutenant Davies intitulé : *Application de la Photographie aux reconnaissances militaires*, cet officier s'attache à prouver que, grâce à la Photographie instantanée,

---

[1] L'Académie des Sciences de Madrid s'est occupée de la question de l'application de la Photographie au lever des plans depuis plus de trente ans; elle l'avait même mise au concours et le Mémoire que nous lui avions adressé en 1862 a été couronné par elle. Nous croyons cependant savoir que, jusqu'à présent, la méthode n'a pas été employée officiellement en Espagne.

l'on peut faire, même à cheval et avec de très petits appareils, d'intéressantes reconnaissances.

Il rappelle que la Photographie en ballon a été habilement employée aux États-Unis par les confédérés au siège de Richmond et que les épreuves obtenues embrassaient le terrain depuis Manchester, à l'ouest, jusqu'à Chickohoming, à l'est. Il ajoute que ces vues aériennes du terrain étaient adressées au quartier général où elles servaient à suivre les renseignements fournis, à l'aide d'un fil télégraphique aboutissant à la nacelle du ballon captif, par des observateurs militaires exercés. Enfin, il termine en faisant allusion à nos travaux et en remarquant qu'ils remontent à plus de trente ans, sans dire toutefois s'ils ont été imités en Angleterre.

L'objet du Mémoire de M. J.-W. Harrison est tout différent de celui qu'avait en vue le lieutenant Davies. Il ne s'agit plus, en effet, de reconnaissances militaires plus ou moins hâtées, mais bien d'une œuvre de longue haleine, pacifique et d'intérêt général, international même, comme nous le verrons bientôt. Ce Mémoire a pour titre : *Étude relative à la création d'un musée photographique national d'archives documentaires*, et, lors de sa publication, il se rapportait exclusivement à la question de savoir comment on pourrait réunir les archives photographiques du Royaume-Uni.

Au nombre des documents qu'il considère comme les plus intéressants, l'auteur signale tout ce qui caractérise chaque contrée, au point de vue pittoresque, c'est-à-dire les grands accidents naturels, les localités célèbres par la beauté de leurs sites ou par les souvenirs historiques qui s'y rattachent, le parcours des fleuves et des rivières depuis leurs sources jusqu'à la mer, etc., mais son programme est beaucoup plus étendu et embrasse tout ce qui peut servir à représenter notre époque, personnages, scènes de mœurs, costumes, monuments, aspect des villes et de leurs différents quartiers.

Néanmoins, comme il s'agit, en définitive, de l'étude détaillée de chacun des comtés de la Grande-Bretagne, l'ensemble des renseignements recueillis ou à recueillir a reçu le nom significatif de *lever photographique*.

Nous ne poursuivrons pas plus loin l'analyse du Mémoire de M. Harrison, mais, sans nous faire d'illusion sur la portée de cette dernière expression, nous constatons que l'idée de relier entre elles les vues nombreuses de paysages qui formeront nécessairement l'un des plus importants éléments de cet immense travail existe, puisque les opérateurs se partagent le terrain et sont tous munis de cartes topographiques détaillées (la carte du Génie militaire) dont ils seront naturellement amenés à contrôler l'exactitude. On peut donc prévoir, à peu près à coup sûr, que ce *lever photographique* servira effectivement à la revision et au perfectionnement des cartes topographiques, et il n'y a rien de téméraire à supposer, en outre, que, parmi les opérateurs, il s'en trouvera qui éprouveront le besoin de recourir à la méthode métrophotographique, principalement dans les pays de montagnes.

A l'occasion du Congrès photographique de Chicago, le programme de M. J.-W. Harrison s'est encore élargi. L'auteur y a communiqué une Note sur l'utilité que présenterait la *création de collections internationales, avec faculté d'échange de photographies documentaires de toute sorte.*

L'étude de la réalisation de ce nouveau projet a été renvoyée à un comité international; il serait prématuré de se prononcer sur ses chances de succès, mais il est permis de faire des vœux pour qu'il se réalise avec toutes ses conséquences [1].

1. — *La Métrophotographie en Allemagne.*

Premiers indices d'après différents auteurs. — On ne trouve, en Allemagne, aucune publication relative à l'art de lever les plans à l'aide de la Photographie avant l'année 1865. A cette époque, des articles de M. Aimé Girard dans le *Jour-*

---

[1] Nous devons au savant photographe M. Léon Vidal, nommé membre du comité international chargé d'étudier la réalisation du projet de M. Harrison, tous les renseignements précédents. M. Léon Vidal s'est adressé aux Sociétés artistiques et scientifiques de Paris pour soumettre la question à l'examen de délégués désignés par elles. L'avenir nous apprendra à quelles résolutions se sera arrêté le comité national dont il provoque la constitution.

nal des Débats et dans le *Bulletin de la Société française de Photographie* furent signalés dans les *Archives photographiques* de Berlin et attirèrent aussitôt l'attention des spécialistes, notamment celle du grand État-major prussien.

Ce fait est assez important pour que je donne ici l'extrait d'un Mémoire très documenté de M. Guido Hauck, de Charlottenburg, dont l'auteur m'a fait l'honneur de m'adresser un exemplaire en 1884 (¹) :

« En Allemagne, les travaux fondamentaux de Laussedat furent connus, pour la première fois, en 1865, par un article de M. Girard, dans les *Archives photographiques*. M. Meydenbauer s'empara alors du sujet, et mettant à profit les objectifs grands angulaires qui donnent des perspectives centrales correctes de 90° d'amplitude (le *Periskop* de Steinheil et le *Pantoskop* de Busch), livrés au commerce la même année, il rendit la méthode pratique et la propagea.

» De son côté, le grand État-major général avait aussitôt porté particulièrement son attention sur ce sujet, et il obtint, entre autres, pendant l'année 1870, d'excellents résultats en faisant des levers, sans la participation de Meydenbauer (²). »

Il paraît toutefois que, depuis le mois d'août 1858, et à propos du lever du dôme de Wetzlar dont il était chargé, le Dr Meydenbauer, dont le nom est cité dans ces deux paragraphes, avait essayé de faire des restitutions de plans d'édifices, d'après leurs photographies, c'est-à-dire d'après des perspectives géométriques exactes.

Nous avons déjà fait remarquer, et nous devons insister ici sur ce point, que la question restreinte dont il s'agit et qui n'est autre chose que le problème inverse de la perspective monumentale était résolue depuis longtemps, ce qui n'empêche pas

---

(¹) Nous avons déjà donné, dans une lettre à M. Paul Nadar, publiée en 1891 dans *Paris-Photographe*, le texte allemand de ce passage et fait quelques autres citations qui seront reproduites dans ce Chapitre.

(²) *Neue Constructionen der Perspective und Photogrammetrie* von GUIDO HAUCK (Sonderabdruck aus Heft 1 Bd 95 des *Journals für die reine und angewandte Mathematik*, herausgegeben von L. KRONECKER und K. WEIERSTRASS), p. 6.

M. Meydenbauer de prétendre que cette idée lui est propre et ses partisans d'en prendre thèse pour le qualifier d'inventeur. Mais, même en admettant qu'il ait eu le mérite de tirer un excellent parti de la Photographie, dans ce cas, on va voir que, d'après les auteurs qui sont le plus favorables au Dr Meydenbauer et d'après lui-même, jusqu'en 1867, ni lui ni personne, en Allemagne, ne s'était avisé d'aller dans la campagne et de faire de la Topographie *en combinant des vues dessinées ou photographiées de stations différentes*, ce qui est le véritable problème de la Photogrammétrie, Métrophotographie ou Phototopographie, comme on voudra l'appeler.

Voici d'ailleurs ce que dit, à ce sujet, le Dr Stolze, le collaborateur et l'admirateur du Dr Meydenbauer, que nous aurons souvent l'occasion de citer.

Après avoir parlé des efforts et des sacrifices de Meydenbauer dans le but de trouver la meilleure forme à adopter pour la chambre obscure qu'il a appelée *théodolite photographique*, en même temps qu'il donnait à l'art nouveau le nom de *Photogrammétrie*, le Dr Stolze convient que son ami ne s'était occupé tout d'abord que de relevés d'architecture, mais que se trouvant, en 1865, à l'exposition photographique de Berlin, en présence de deux vues différentes d'un même sommet de montagne, il avait eu, toujours spontanément, l'idée *d'appliquer aussi la Photogrammétrie au lever des plans du terrain*. Il imagina alors, continue-t-il, la méthode correspondante et, la même année, il en fit part à l'État-major général (1).

M. Stolze ajoute enfin : « En 1867, il (le Dr Meydenbauer) eut connaissance des travaux de Laussedat, à l'Exposition universelle de Paris. La manière d'employer les photographies à la construction des plans était bien la même, mais, tandis que *les photographies de Laussedat, par suite de l'imperfection de son appareil, étaient tout à fait insuffisantes*, Meydenbauer avait établi le sien sur *des principes rigoureux*, et la

(1) *Das Licht im Dienste wissenschaftlicher Forschung* von SIGMUND THEODOR STEIN. Fünftes Heft. *Die Photogrammetrie* (bearbeitet von Dr F. STOLZE), p. 202-203. Halle-a-S., Druck und Verlag von Wilhelm Knapp; 1887.

solide chambre métallique à laquelle il avait fixé le *Pantoskop* de Busch avec son foyer invariable reposait sur un fort anneau métallique porté lui-même par toute sa périphérie sur le pied de l'instrument » (¹).

Il serait inutile, je pense, d'aller plus loin et je laisse au

Fig. 1.

lecteur le soin d'apprécier la logique et le bon goût de cette argumentation. Je n'ai d'ailleurs qu'à donner ici la figure du merveilleux appareil de Meydenbauer (*fig.* 1), que l'on pourra comparer avec les dessins détaillés de ma première chambre obscure, dessins publiés en 1864 dans le n° 16 du *Mémorial*

(¹) *Loc. cit.*, p. 204.

de l'officier du génie et reproduits dans les *Annales*, 2e série, t. III, *Pl. VII*.

Apparemment ni le Dr Stolze ni le Dr Meydenbauer n'ont le temps d'aller aux renseignements, car ils semblent n'avoir jamais entendu parler du Mémoire de 1864 et encore moins de celui de 1854 qui contenait pourtant déjà les principes de la méthode telle qu'ils l'enseignent aujourd'hui (1), ni du rapport de M. Laugier sur les expériences faites en 1859, pas plus que du plan de Grenoble levé par M. le capitaine Javary et présenté en 1864 à l'Académie des Sciences de Paris, dont les comptes rendus se trouvent partout, pas même enfin de l'article des *Archives photographiques* de Berlin, en 1865.

Je ne dois pas moins affirmer, contrairement aux délicates insinuations du Dr Stolze, que même sans avoir eu recours aux objectifs de Busch (qui n'étaient pas inventés), les photographies de Faverges que M. Meydenbauer a vues à l'Exposition universelle de Paris en 1867 étaient tout à fait suffisantes pour le but à atteindre (2), que le foyer de mon appareil était aussi invariable que possible, enfin que le trépied à vis calantes sur lequel reposait la chambre obscure d'une seule pièce et le pied de l'instrument lui-même, le tout exécuté par l'excellent artiste Brunner, étaient aussi solides, aussi habilement construits que tout ce qu'a jamais su faire le Dr Meydenbauer. Je pourrais ajouter que l'ensemble de l'appareil présentait plus d'analogie avec un théodolite que celui de l'architecte allemand, dont la forme pyramidale, passablement étrange, se prête mal à l'adaptation d'organes géodésiques.

Au surplus, soit que l'on incline à penser que M. Guido

---

(1) Comparer *Das Licht*, etc., bearbeitet von Dr F. Stolze, 1887, p. 208-212, avec le n° 16 du *Mémorial de l'officier du génie*, 1854, p. 230-237.

(2) Nous avons heureusement conservé la plupart de ces photographies dont on a pu voir deux spécimens au premier Chapitre de cette troisième Partie. Nous en avons fait exposer d'ailleurs le plus grand nombre au Conservatoire des Arts et Métiers, à côté du plan de Faverges construit en 1866, qui représente, à lui seul, beaucoup plus de travail topographique que tout ce que le Dr Meydenbauer avait exécuté de 1867 à 1873, comme on le verra ci-après. Nous sommes même autorisé à dire que ce seul plan de Faverges dépasse en étendue et sous le rapport des détails tout ce que l'on a fait en Allemagne jusqu'à ce jour dans le même genre; et l'on ne doit pas oublier que les matériaux en avaient été recueillis en dix-huit jours sur le terrain.

Hauck devait être bien renseigné, quand il se faisait l'écho de l'impression produite à Berlin par les articles du *Journal des Débats* et du *Bulletin de la Société française de Photographie*, mentionnés dans le *Photogr. Archiv* de 1865, soit que l'on adopte la version assez peu vraisemblable du Dr Stolze, l'antériorité de nos travaux et, comme on le verra bientôt, la supériorité des résultats obtenus en France de 1850 à 1870 et soumis au public (vues et plan de la forteresse du Mont-Valérien, 1854, du fort de Vincennes, 1861 (1), plan de Grenoble présenté en 1864 à l'Académie des Sciences, plan de Faverges exposé en 1867 au Champ de Mars), ne sauraient faire l'ombre d'un doute.

Cependant, M. Meydenbauer, dans un Ouvrage publié en 1892, sans indiquer autrement à quelle époque remontent ses premières recherches concernant l'application de la Photographie au lever des plans, s'exprime de la manière suivante :

« Les conditions exposées dans ce premier Volume pour obtenir la plus grande exactitude possible avec les instruments iconométriques (*Messbild-Instrumente*), sont si difficiles à remplir qu'il a fallu à l'art qui les utilise plus de vingt-cinq ans pour arriver à des résultats d'une importance pratique, depuis les recherches satisfaisantes de Laussedat et de l'auteur en 1865-1867 » (2).

On voit bien, d'après cette dernière citation, le peu de souci qu'a le dit auteur pour la précision en fait d'informations, car il est à peine croyable qu'en 1892 il ait ignoré tout ce qui a été écrit, depuis plus de dix ans, tant en Allemagne qu'en France, sur les origines de la Métrophotographie et qu'il n'ait pas cherché à remonter aux sources, ce qui l'eût sans doute déterminé à être plus exact.

Je m'efforcerai de ne pas encourir le même reproche dans

---

(1) Dates des publications, car les originaux de ces deux premiers essais ont été remis en 1850 au Comité des Fortifications.

(2) *Das photographisches Aufnehmen zu wissenschaftlichen Zwecken, insbesondere das Messbild-Verfahren* von Dr A. MEYDENBAUER, geheimer Baurath, etc., p. 183. Berlin, 1892. Unte's Verlags Anstalt.

l'exposé que je désire faire aussi impartial, aussi rigoureux que possible des expériences et des travaux des savants et des officiers allemands, d'après les nombreux documents que je suis parvenu à me procurer et qu'il n'a pas dépendu de moi de compléter, toutes les recherches, toutes les démarches que j'ai faites pour trouver ou pour obtenir des spécimens de cartes ou de plans de quelque importance étant demeurées à peu près infructueuses.

Premiers essais de lever de terrain; leur peu de succès. — C'est en 1867 que le Dr Meydenbauer entreprit le premier lever de terrain par la Photographie dont il soit fait mention dans les ouvrages allemands.

Ce lever, auquel concourut l'État-major prussien, fut exécuté à Freiburg en Silésie, à l'échelle de $\frac{1}{1000}$; il comprenait une superficie de 50 *hectares* et le relief du terrain y était figuré par des sections horizontales à l'équidistance de 3m. Une expérience analogue fut répétée à Sarrelouis, en 1868, mais nous n'en connaissons pas le détail (1).

En suivant l'ordre chronologique, nous arrivons aux tentatives faites par l'ennemi, pendant la guerre franco-allemande, devant Strasbourg et devant Paris, pour utiliser la Photographie à la reconnaissance d'une place assiégée.

Nous avons vu (p. 6) que, d'après M. Guido Hauck, l'État-major prussien aurait obtenu, sans la participation de Meydenbauer, d'excellents résultats en 1870. Si cette date vise effectivement le temps de la guerre, l'assertion de M. Guido Hauck se trouve contredite par ce que rapportent les deux auteurs déjà cités (2).

En effet, d'après le Dr Stolze, l'État-major prussien serait resté étranger ou du moins n'aurait pris aucune part effective aux travaux du détachement photographique, pendant les trois mois que celui-ci passa sur le théâtre de la guerre.

---

(1) Dr F. Stolze, *Die Photogrammetrie. Loc. cit.*, p. 205. — Dr S. Finsterwalder. *Die Terrainaufnahme mittelst Photogrammetrie*, p. 2. München, Theodore Riedel; 1891.

(2) Les Drs Stolze et Finsterwalder.

Ce détachement, placé sous les ordres du capitaine du génie Buchardi et du lieutenant de réserve Dörgens, chargé de la partie technique, était composé de quatre photographes, d'un sergent dessinateur, de dix gardes pionniers et de deux soldats du train.

Arrivé devant Strasbourg, le 19 septembre, il y fit 116 clichés photographiques sur des glaces de 12po. Pour soumettre ces clichés aux mesures photogrammétriques, des épreuves furent tirées par J.-B. Obernetter, à Munich, *mais on ne dit pas ce que donnèrent ces mesures.*

Le détachement se dirigea plus tard sur Versailles, qu'il atteignit le 5 décembre et où, par un ordre de cabinet, il fut mis à la disposition spéciale du prince royal. Il entreprit de relever les forts d'Issy, de Vanves et de Montrouge, ainsi que les batteries de siège prussiennes du Sud; 123 épreuves furent prises, en tout, devant Paris, mais ne furent pas soumises aux mesures photogrammétriques.

En résumé, le Dr Stolze considère cet essai comme un échec qu'il attribue à l'insuffisante préparation du personnel (1).

De son côté, le Dr Finsterwalder se borne à le mentionner en ces termes : « Pendant la guerre franco-allemande, on tenta d'employer la Photogrammétrie pour reconnaître les forteresses assiégées, notamment Strasbourg, mais l'on ne parvint pas à obtenir des photographies qui fussent utilisables. »

Le même auteur ajoute que cet insuccès avait jeté sur la méthode photogrammétrique un discrédit tel, qu'une reconnaissance faite en 1873, par Meydenbauer, dans la vallée de la Reuss, et qui aurait pu aider au projet du chemin de fer du Saint-Gothard, bien que le travail sur le terrain eût été achevé en quelques heures, ne parvint pas à être prise en considération (2).

L'école de Meydenbauer retourne à l'Architecture et re-

---

(1) Dr STOLZE, *loc. cit.*, p. 214.
(2) Dr FINSTERWALDER, *loc. cit.*, p. 2.

nonce à la Topographie proprement dite. — « Meydenbauer, Stolze et les autres, dit en terminant le Dr Finsterwalder, se consacrèrent alors exclusivement au culte de la Photogrammétrie appliquée à la restitution des plans des édifices, des ruines dans la campagne, etc. » (1).

Le Dr Stolze ne présente pas les faits absolument sous le même jour, mais il arrive à la même conclusion.

Après avoir raconté qu'en 1873, le Dr Meydenbauer avait, en quelques heures, avec son instrument et un seul aide, fait la reconnaissance d'une partie de la vallée de la Reuss, il dit que, longtemps après, de retour à la maison, il avait trouvé assez de matériaux (sur ses épreuves) pour établir un plan qui ne le cédait en rien aux levers trigonométriques exécutés en vue du projet du chemin de fer du Saint-Gothard (2).

Voilà, en définitive, tout ce que l'on sait des travaux phototopographiques de M. Meydenhauer et de l'État-major général prussien. Aucune carte, aucun plan n'a été publié ou exposé que je sache, et il est impossible, par conséquent, de se faire de ces essais une autre idée que celle de tâtonnements assez peu satisfaisants.

Depuis 1876, M. Meydenbauer a eu le bon esprit de revenir purement et simplement aux travaux qui lui sont familiers, à la restitution des plans des monuments, et il paraît y avoir si bien réussi que ses confrères les architectes font bon marché de la Topographie et de la Cartographie, en se félicitant de ce que les résultats auxquels ils sont parvenus leur donnent le pas sur les autres pays pour les archives des monuments nationaux (3). Ils reconnaissent qu'ailleurs, en Italie et en Autriche notamment, on est allé plus loin qu'eux dans les applications de la Photographie à la Topographie, mais ils s'en consolent en remarquant qu'il n'y a pas de hautes montagnes sur le sol allemand et en pensant qu'après tout, le lever de

(1) Dr FINSTERWALDER, *loc. cit.*, p. 2.
(2) Dr STOLZE, *loc. cit.*, p. 205.
(3) *Deustche Bauzeitung*. XXVI Jahrgang. Berlin den 19 November 1892. *Zum gegenwärtigen Stande des Messbild-Verfahrens*, p. 571, col. 1.

Meydenbauer dans la vallée de la Reuss a suffi pour démontrer les avantages de la Photographie en pareil cas.

Nous reviendrons un peu plus loin sur l'organisation de l'établissement photogrammétrique fondé à Berlin pour l'Architecture et l'Archéologie, mais nous pouvons, dès à présent, en indiquer l'origine d'après le récit du Dr Stolze qui rappelle à ce propos ses propres travaux au cours d'une mission qu'il a remplie en 1874 et années suivantes, en Perse, en qualité de membre de l'expédition épigraphique et archéologique de F.-C. Andreas.

En 1876, le Dr Meydenbauer ayant relevé photographiquement le plan d'une église de Coblentz (*Castorkirche*), les résultats qu'il obtint appelèrent l'attention sur sa méthode et le ministre des cultes le chargea, en 1880, de l'enseigner d'abord à l'École supérieure d'Aix-la-Chapelle, puis, en 1882, à l'Institut du même degré de Berlin. Profitant de cette dernière situation, il démontra, en l'appliquant à un grand nombre d'édifices de la capitale, la supériorité de cette méthode sur celle que l'on emploie ordinairement pour relever les plans de bâtiments.

Le Dr Stolze, qui était alors revenu de Perse, en avait rapporté les éléments des reconnaissances d'anciennes mosquées de Schiraz et des ruines de Persepolis et de Pasargadæ.

Les premiers se composaient de 54 épreuves photographiques; la durée totale des opérations avait été de cinq heures, y compris la mesure d'une base, et l'auteur estime à un mois ou deux le temps nécessaire pour effectuer le même travail par les méthodes de mesures directes.

La reconnaissance complète de Persepolis avait été faite en six jours, à l'aide de 200 épreuves.

Le plan des deux mosquées fut construit, au retour, à Marburg, par le Dr Meydenbauer, et celui de Persepolis, à Berlin, par le Dr Stolze lui-même qui fit remarquer, à cette occasion, que les matériaux photogrammétriques peuvent être utilisés, quand on le veut, loin du lieu où ils ont été recueillis (1).

(1) Dr F. Stolze, *loc. cit.*, p. 205-206.

Nous avons sous les yeux l'ouvrage sur Persepolis publié en 1882 par le Dr Stolze, et nous sommes en mesure d'affirmer que les photographies qu'il contient ne sont pas meilleures que celles de Faverges (si maltraitées par le Dr Meydenbauer) au point de vue de la netteté des détails topographiques, et que le *plan de* 30 *hectares* à l'échelle de $\frac{1}{2120}$ environ, avec des sections horizontales équidistantes de $0^m,50$ en $0^m,50$ fort confuses en plusieurs endroits, n'est en rien supérieur comme exécution, au contraire, à nos cartes topographiques d'une bien plus grande étendue, à égalité de temps employé sur le terrain, et levées avant que le Dr Meydenbauer et le Dr Stolze eussent songé à mettre les pieds dehors dans le même but. Je serais donc en droit de qualifier sans ménagements la note qui figure au bas de la première page du premier volume de *Persepolis*, et que je me contente de reproduire dans sa langue originale pour n'en point altérer la candeur :

« *Die Photogrammetrie ist eine eigenthümliche vom Bau-Inspector A. Meydenbauer erfundene Methode nach mit dem photographischen Theodoliten, einem eigens hierzu construirten Instrument, gefertigten Aufnahmen architectonische und topographische Pläne zu entwerfen* (1). »

M. le Dr Stolze est peut-être un excellent archéologue épigraphiste, mais son talent comme topographe est fort ordinaire, même avec le secours de la Photographie, et, s'il se complait à la recherche des faits et des documents souvent si douteux des temps reculés de l'histoire, il est vraiment par trop indifférent ou trop distrait devant les plus modernes et les plus authentiques.

Je pourrais, par exemple, signaler, dans son *Traité de Photogrammétrie*, la singulière confusion qu'il a faite en rapprochant l'appareil du Dr Chevallier, qu'il décrit complètement, du mien dont il ne dit à peu près rien, si ce n'est qu'il

(1) *Persepolis*, etc. Zwei Bände, Berlin, Verlag von A. Asher und Cie, 1882 (à la Bibliothèque Nationale de Paris).

serait une sorte d'intermédiaire entre le premier et celui du Dr Meydenbauer, en ajoutant que la planchette du Dr Chevallier (qu'il prend pour l'opticien de ce nom) n'est pas pratique.

Il omet, d'un autre côté, de reconnaître que ma méthode, essentiellement différente de celle des perspectives rayonnantes que j'ai toujours critiquée et rejetée, est exactement celle qu'il attribue si gaillardement à son patron et qu'il a pratiquée lui-même après son retour de Perse, d'après les explications qu'il donne dans son Traité dont les principales figures sont la reproduction de celles de mon Mémoire de 1854, augmentées de deux ou trois autres dont je lui laisse la responsabilité.

On me pardonnera de tant insister sur cette question de priorité scientifique, quand on saura que plusieurs autres auteurs allemands ou autrichiens ont admis, sans la contrôler, la légende créée par la complaisante admiration du Dr Stolze pour son ami.

Je terminerai l'histoire de l'École de Meydenbauer en donnant quelques renseignements sur sa véritable création : celle d'un Institut spécial à Berlin désigné sous le nom de *Messbild Anstalt für Denkmäler-Aufnahmen*.

Après un dernier succès du Dr Meydenbauer en 1883, à Marburg où il avait levé le plan de l'église Sainte-Élisabeth, le ministre des cultes de cette époque, Dr von Gossler, résolut enfin de donner une consécration officielle à un art qui lui semblait destiné à rendre de sérieux services à l'État. Meydenbauer fut appelé, en conséquence, à Berlin, en 1885, et chargé d'organiser et d'installer dans l'ancienne Académie d'Architecture (Schinkelplatz, 6) un service d'Iconométrie monumentale.

Les considérants invoqués pour cette fondation méritent d'être indiqués ici. Le but que l'on s'est proposé est, en définitive, de conserver l'aspect et le souvenir des monuments nationaux les plus importants à l'aide d'épreuves photographiques sur lesquelles on effectue des mesures exactes bien plus rapidement que sur les monuments eux-mêmes. En cas d'accident,

on serait donc en état de restaurer ou même de restituer complètement chacun de ces monuments sans aucune altération, et si des nécessités impérieuses obligeaient à le détruire, il resterait du moins à l'abri de l'oubli ou d'interprétations inexactes. Combien d'édifices intéressants n'ont-ils pas perdu leur véritable caractère, à la suite des dégradations qu'ils ont subies peu à peu et de restaurations maladroites. Si l'on a reculé devant l'énorme et pour ainsi dire incalculable dépense de levers et de dessins qu'il eût fallu entreprendre auparavant pour rassembler les documents indispensables, on peut aujourd'hui se rendre un compte exact du temps et des frais nécessaires pour une entreprise qui aboutira à la réunion, dans une salle de 10^{m} de longueur sur 6^{m} de largeur, des archives, sous forme de clichés photographiques, de tous les monuments importants de l'Allemagne.

L'Institut possède déjà plus de 3000 clichés représentant les édifices de presque toutes les provinces de la Prusse. Les architectes et les historiens d'art trouvent là des matériaux d'une grande richesse que l'on ne rencontrerait peut-être nulle part ailleurs.

Les clichés originaux sont des carrés de $0^{m},40$ de côté, et, quoique les instruments nécessaires semblent un peu embarrassants, on les emploie d'une manière singulièrement rapide. Ainsi, journellement, on fait de quatre à six levers et dans les longs jours on va jusqu'à quinze, de toutes sortes de points de vue choisis sur la voie publique, sur les toits, aux fenêtres ou aux lucarnes.

Enfin, M. Meydenbauer a voulu répondre à tous les besoins des architectes en faisant construire pour eux un petit appareil très maniable, de la grandeur d'une forte lorgnette de théâtre, avec un pied composé de tiges légères et de ficelles dont l'ensemble peut se réduire aux dimensions d'une canne ordinaire. Les épreuves que l'on obtient avec cet instrument sont du format $9^{cm} \times 12^{cm}$ et peuvent subir une amplification linéaire de trois fois [1].

---

[1] *Deustche Bauzeitung*, Berlin den 19 November 1892., n° 93, *Zum gegenwärtigen Stande des Messbild-Verfahrens*, p. 570-571.

Il y a eu, en 1892, à Berlin, une exposition de dessins de bâtiments et des photographies de grand format ayant servi à les construire qui ont été très appréciés des connaisseurs.

Cette exposition renfermait :

1° Des vues iconométriques du format de $40^{cm} \times 40^{cm}$ tirées des clichés originaux et qui offraient les points de repère nécessaires pour servir aux mesures exactes ;

2° Les dessins géométriques résultants, plans, coupes et élévations des édifices suivants :

(*a*) Le *dôme de Trèves*, comprenant 8 feuilles de dessin, avec 3 grandes vues et 8 vues iconométriques, restituées et dessinées par l'architecte royal Bürde ;

(*b*) Le *dôme d'Erfurt*, comprenant 7 feuilles de dessin avec 4 grandes vues et 8 vues iconométriques, restituées et dessinées par Bürde ;

(*c*) Le *grand pont* (*Lange Brücke*) de Berlin, restitué et dessiné par J. Unte ;

(*d*) Le *dôme de Magdebourg* (côté occidental), avec trois grandes vues, 4 vues iconométriques, 6 détails et 4 détails agrandis, restitués et dessinés par J. Unte ([1]).

Il est probable que d'autres restitutions, en plus ou moins grand nombre, ont été ou seront faites à l'Institut iconométrique et nous ne pouvons que féliciter tous ceux, ministre, photographes, archéologues et architectes, qui ont concouru et continuent à concourir à cette œuvre très importante.

Il ne faudrait pas croire toutefois que rien n'ait été fait chez nous dans le même but. La commission des monuments historiques s'est, depuis longtemps, préoccupée de l'utilité que présenterait une collection de vues de grand format, de nos édifices classés, et elle a été très bien secondée dans ses études à ce sujet par M. Mieusement qui est, à la fois, un homme de goût et un excellent photographe.

D'un autre côté, nos savants architectes ont également recours à la Photographie pour reproduire, sous leurs diffé-

---

([1]) *Erlaüternde Bemerkungen zu den in der akademischen Kunst-Ausstellung* 1892 *befindlichen Messbild-Aufnahmen, Zeichnungen und Gross-Photographien.* Berlin, im Mai 1892.

rents aspects, les monuments dont l'entretien leur est confié et leurs propres œuvres. Tous ces documents, même sans qu'on ait eu besoin de s'astreindre à l'emploi d'appareils spéciaux et encore moins de ceux que l'on a qualifiés improprement du nom de théodolites, contiennent, pour la plupart, les éléments suffisants pour la restitution des plans et des élévations de toutes les parties représentées.

Nous n'avons donc pas grand'chose à envier, sous ce rapport, aux autres pays, même à l'Allemagne, dont nous ferions bien, cependant, de suivre l'exemple, en rassemblant tous les matériaux que nous possédons dans un établissement public, à l'École des Beaux-Arts ou à la Bibliothèque nationale, où ils pourraient être mis à la disposition des personnes intéressées, érudits ou artistes, et servir, quand cela serait nécessaire, à la restauration des vraies dimensions des monuments (1).

En résumé, on a beaucoup exagéré, en Allemagne, la part qui revient au Dr Meydenbauer dans le mouvement qui s'est produit, depuis une quarantaine d'années et surtout pendant ces derniers temps, en faveur des applications de la Photographie au lever des plans. Cet industrieux architecte n'a rien ajouté à ce qui avait été fait avant lui en Phototopographie, et ses essais en ce genre ne semblent, en aucune façon, pouvoir soutenir la comparaison avec les résultats depuis longtemps obtenus et rendus publics en France. En Photo-architecture, son principal mérite a été la persévérance, mais la méthode qu'il a nécessairement suivie pour effectuer les restitutions de plans ne lui appartient pas, car elle est aussi ancienne que la science de la perspective elle-même. Enfin, son appareil, qui est, à tort, qualifié de théodolite, peut être, dans ce cas, remplacé beaucoup plus économiquement par une chambre noire ordinaire munie d'un bon objectif. Les pré-

(1) Nous ne devons pas manquer, à ce propos, de renvoyer le lecteur au préambule de cet article, dans lequel nous avons fait connaître l'idée de la création de musées photographiques nationaux et même de collections internationales, mise en avant par M. J.-W. Harrison et dont on s'occupe en plusieurs pays et, en particulier, en France.

cautions à prendre dans l'installation de cet instrument pour obtenir des vues plus correctes de monuments sont connues de tous les photographes tant soit peu exercés. Enfin, quant aux instruments très simples nécessaires pour prendre les quelques mesures accessoires destinées à déterminer l'échelle des dessins géométriques, un architecte ou toute autre personne instruite ne sera jamais embarrassé pour se les procurer ou même pour les improviser (1).

Le nom de *Photogrammétrie* proposé par M. Meydenbauer (et que nous avons changé en celui de *Métrophotographie* pour obéir à la règle établie à Bruxelles, en 1891, par le Congrès international de Photographie) a eu d'abord beaucoup de succès et a peut-être contribué à populariser le nouvel art en Allemagne (2).

Nous ne pourrions pas, sans donner trop d'étendue à ce Chapitre, rendre compte du grand nombre de traités et de brochures publiés chez nos voisins depuis une dizaine d'années sur ce sujet. Nous nous bornerons donc à reconnaître qu'il y a eu d'ingénieuses tentatives faites par plusieurs géomètres distingués pour donner à la Photogrammétrie un caractère et une direction scientifiques qui dépassent, selon nous, assez souvent le but à atteindre. Les opérations graphiques très simples et très directes qui sont l'essence de la méthode et auxquelles il faut toujours aboutir, en définitive, n'ont, en effet, guère à profiter des raffinements auxquels se prêtent les nombres (degrés, minutes et secondes) qui représentent, en Astronomie et en Géodésie, les résultats d'observations faites avec des instruments délicats. Il est vrai que l'on a voulu aussi introduire des instruments analogues (instruments universels), mais nous persistons à affirmer, comme nous venons de le dire, que le but se trouve ainsi dépassé, et nous donnons

---

(1) L'exemple du savant voyageur Dr Le Bon est la meilleure preuve à donner de ce que nous avançons ici. Voyez *Les levers photographiques et la Photographie en voyage*, par le Dr Gustave Le Bon (Paris, Gauthier-Villars et fils; 1889).

(2) Il est maintenant un peu démodé et remplacé par celui de *Messbildkunst* ou *Messbild-Verfahren* que j'ai traduit par le mot *Iconométrie* et qui a l'avantage d'être plus général que celui de *Métrophotographie*.

ici (*fig.* 2) la figure de l'instrument du Dr Koppe pour mettre le lecteur en état de l'apprécier lui-même (1).

D'autres savants allemands ont cherché à résoudre méca-

Fig. 2.

niquement le problème de la combinaison des vues et, en général, de la transformation des perspectives en projections horizontales (ou verticales pour les monuments) et imaginé,

(1) Voir : *Die Photogrammetrie oder Bildmesskunst* von Dr C. Koppe, Professor an der technischen Hochschule zu Braunschweig. Weimar, 1889.

à cet effet, des *perspectographes* ou des *perspectomètres* très ingénieux (1), mais qui, pour la Topographie et la Cartographie, ne répondront jamais complètement aux besoins de la pratique.

Nous devons même avouer, en ce qui concerne cette dernière application, celle qui nous intéresse le plus, que les résultats obtenus en Allemagne ou par les savants voyageurs allemands sont assez rares et ne peuvent encore être cités que comme des essais plus ou moins heureux. Ainsi, en dehors de ceux de Meydenbauer et de l'État-major général prussien et du plan des ruines de Persepolis du Dr Stolze, nous ne trouvons à mentionner que les documents suivants :

Le plan de l'oasis Gassr Dachel, dans les déserts de la Libye, levé par le professeur Jordan, qui accompagnait Rohlf dans sa mission en 1873-1874, et dont nous donnons une reproduction (*Pl. I*) (2);

Un assez curieux exemple, quoique bien confus, de lever de rochers (*Rosstrappefelsens*) fait dans le Harz, par le Dr Koppe, à l'aide de son photothéodolite universel, avec 3 photographies, 2 plans de construction, une étude du Rosstrappe et un profil à l'échelle de $\frac{1}{2700}$ (3);

Un spécimen de lever dans les Alpes austro-bavaroises, composé d'un plan exécuté à l'échelle de $\frac{1}{7500}$ et réduit à l'échelle de $\frac{1}{15000}$, avec des courbes de niveau à l'équidistance de 20m et de deux vues gravées d'après des photographies prises

---

(1) GUIDO HAUCK, *Verhandlungen der Phys. Ges. in Berlin*, 1883, n° 8, p. 43; — *Neue Construction der Perspective und Photogrammetrie*, etc.; — *Perspectograph* von HERMANN RITTER, Architekt, Frankfurt-a.-M., J. Maubach et Ce.

(2) *Zeitschrift für Vermessungswesen*, etc., herausgegeben von Dr W. JORDAN, professor in Carlsruhe, V Band, 1 Heft. Stuttgart, Konrad Wittwer; 1876.

M. le professeur Jordan s'inquiète beaucoup des causes d'erreurs et les analyse minutieusement dans son Mémoire. L'exactitude du plan de l'oasis de Dachel à l'échelle de $\frac{1}{5000}$, d'après cinq vues photographiques, prises de deux stations distantes de 793m, est assurée par la détermination trigonométrique directe de plusieurs points. Ce document est intéressant, quoique bien sommaire : il y manque notamment un nivellement par courbes horizontales qui aurait pu être au moins ébauché à l'aide des vues sur lesquelles figurent des lignes d'horizon.

(3) *Die Photogrammetrie* von Dr C. KOPPE. Planches I, IV, V, VI et VII.

de stations élevées, le Vordere Guslarspitze à 3121^m et le Kesselwand à 3152^m d'altitude (1);

Enfin, un extrait du lever du Wettersteingebirge, exécuté par le Bureau topographique de l'État-major bavarois à l'échelle de $\frac{1}{25000}$, avec un spécimen gravé de la photographie du grand Hundsstall dont la cime atteint l'altitude de 2674^m, prise de Gaifkopf (2).

On voit, par tout ce qui précède, que si l'Iconométrie monumentale a pris, en Allemagne, une assez grande importance, il n'en est pas encore de même de la Métrophotographie cartographique. On assure, toutefois, que bon nombre d'officiers chargés de faire des reconnaissances emploient les appareils très portatifs si communs aujourd'hui, et, si l'on ignore l'usage qu'ils sont exercés à en faire, on ne saurait douter que les principes destinés à les guider ne soient ceux que l'on trouve dans les auteurs que nous avons cités et, par conséquent, ceux qui ont été tout d'abord indiqués en France.

2. — *La Métrophotographie en Italie.*

Les Italiens, qui ont commencé seulement en 1878 à s'occuper sérieusement de l'application de la Photographie au lever des plans, ont eu le très grand mérite de ne plus l'abandonner et d'en faire un usage avantageux dans la construction d'une nouvelle carte des Alpes à l'échelle de $\frac{1}{100000}$.

Les premiers essais sont dus à un jeune lieutenant d'état-major, Manzi Michele, qui se servit, en 1875, d'une chambre noire ordinaire, d'abord dans les Abruzzes, au Gran Sasso, et l'année suivante pour faire le lever topographique du glacier de Bart, au mont Cenis, à l'échelle de $\frac{1}{10000}$.

Les objections que l'on fit alors à l'emploi de la Photographie sont de même nature que celles qui ont accueilli chez nous cette utile application, à ses débuts, et qui l'ont même

---

(1) *Die Terrain Aufnahme mittelst Photogrammetrie* von Dr S. Finsterwalder, p. 14, 15 et 16.

(2) *Topographische Aufnahmen im Gebirge* von Otto Jäger. München, Theodor Riedel; 1892.

paralysée pendant si longtemps ; mais, fort heureusement pour nos voisins, il se trouva qu'un chef intelligent, le général (alors colonel) Ferrero, fut placé à la tête de l'Institut géographique, et les expériences recommencèrent dans les meilleures conditions.

Nous ne saurions mieux faire que de donner, à ce sujet, l'extrait suivant d'une Notice officielle intitulée *Vicende della Fotografia in Italia*, que nous traduisons en français :

« En 1878, le général Ferrero appela de nouveau l'attention de la direction de l'Institut sur la nécessité d'entreprendre de nouvelles études de Phototopographie et, sur sa proposition, pendant l'été de 1878, l'ingénieur Paganini Pio, qui était attaché à l'Institut, fut envoyé dans les Alpes Apuanes avec les instructions suivantes :

» 1° Étudier la question de savoir si l'on peut faire de la Photographie dans les hautes montagnes et si l'on pourrait, sur le terrain difficile des Alpes, obtenir des panoramas susceptibles d'aider le topographe dans la représentation du vrai caractère de ce terrain ;

» 2° Obtenir ces panoramas représentatifs qui, convenablement réduits et reproduits par la Photogravure, pourraient servir à l'illustration des feuilles de la nouvelle carte d'Italie qui contiendraient la zone correspondante du terrain ;

» 3° Voir si les panoramas eux-mêmes ne pourraient pas se traduire en levers photographiques [1].

---

[1] Nous ne pouvons qu'approuver les termes de ce programme, mais il nous sera permis de déclarer que les réponses aux trois questions qu'il renferme étaient faites depuis déjà bien des années dans notre pays. Si le magnifique Ouvrage de A. Civiale intitulé : *Les Alpes au point de vue de la Géographie physique et de la Géologie* n'a paru qu'en 1882 [a], les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* des 20 avril 1860, 22 avril 1861, 17 mars 1862, 21 mars 1863, 14 mars 1864, 9 avril 1865, 19 mars 1866, 2 avril 1867 et 26 avril 1869 contiennent une série de Notes sur l'application de la Photographie à la Géographie physique et à la Géologie qui ne laissaient aucun doute sur la possibilité de faire d'excellente photographie dans les Alpes. Les admirables panoramas composés d'épreuves de 27 × 38 et présentés annuellement à l'Académie s'étendaient sur toute la chaîne des hautes Alpes françaises, suisses, italiennes et autrichiennes, et le Rap-

[a] Paris, chez J. Rothschild, 13, rue des Saints-Pères.

» Pour répondre à ces trois questions, on fit transformer un

---

port de la Commission composée de MM. Regnault, Daubrée et Ch. Sainte-Claire Deville, daté du 16 avril 1866 (et qui fait remonter les premiers travaux de Civiale à l'année 1857, dans les Pyrénées), ne tarit pas en éloges sur la sagacité et la science de l'observateur, en même temps que sur la perfection des résultats auxquels il est parvenu. Obligé de renoncer au collodion humide qu'il avait employé au début avec des appareils de faibles dimensions, Civiale avait adopté le papier ciré sec, et son habileté était telle, que même aujourd'hui, et avec le secours des préparations les plus sensibles, personne n'a pu obtenir d'épreuves supérieures aux siennes. Toutes les précautions étaient d'ailleurs prises par le savant opérateur pour tenir compte de la marche du soleil, afin que les différentes parties de chacun des panoramas circulaires fussent convenablement éclairées.

Civiale n'avait certes pas la prétention de construire la Carte générale des Alpes et celle qu'il a dressée pour résumer ses études était déduite des cartes d'état-major des quatre pays traversés ou limités par la grande chaîne; mais ses panoramas n'étaient pas moins exécutés avec un appareil et dans des conditions de précision tels, qu'ils lui permettaient de faire de nombreuses vérifications et souvent de corriger des erreurs.

« Dans chaque station, dit le rapporteur de la Commission académique, on a consigné exactement la position et l'orientation de l'axe optique de l'appareil, on a mesuré barométriquement l'altitude, noté l'angle dans lequel le panorama est compris et déterminé, à l'aide d'un goniomètre fort simple, imaginé par l'auteur, les angles verticaux des différents sommets du panorama au-dessus de la station. Il sera alors facile, avec l'épreuve photographique et une carte topographique détaillée, de connaître les coordonnées de chaque sommet ou d'un point intéressant par rapport au plan horizontal qui passe par la station ».

Devons-nous ajouter que Civiale, aussi savant géologue que savant géographe, recueillait partout des échantillons de roches et notait sur chaque épreuve la nature du terrain représenté. Pour les sept années consécutives de 1859 à 1866, l'ensemble de ses travaux photographiques comprenait vingt-cinq grands panoramas de quatorze vues chacun (le champ de son appareil étant de 30° seulement et le nombre des épreuves un peu supérieur au strict nécessaire pour faciliter les raccordements) et quatre cent cinquante vues de détails.

L'Ouvrage publié en 1882 contient quatorze héliogravures qui sont les réductions d'autant de photographies de l'auteur exécutées bien avant que la seconde question du programme italien eût été posée.

Quant à la troisième question de ce programme, nous renvoyons les cartographes aux spécimens que nous avons publiés nous-mêmes, M. le commandant Javary et moi, et spécialement à la grande carte topographique des *environs de Faverges, dans une partie très montagneuse de la Savoie,* qui date de 1866 et comprend 12,000 hectares de terrain à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ avec des courbes de niveau équidistantes de 5^m en 5^m, couvrant une surface de 5^{mq}, qui a été vue par tout le monde à l'Exposition universelle de 1867 et notamment par le Dr Meydenbauer, lequel essayait, *pour la première fois, la même année,* de lever 50 hectares auprès de Freiburg, en Silésie. Cette carte est exposée d'ailleurs, d'une manière permanente, dans la galerie de Photographie du Conservatoire des Arts et

appareil photographique ordinaire en un instrument spécial (théodolite-chambre obscure) qui, indépendamment de ce qu'il donnait les panoramas exempts de déformations sensibles, procurait, à l'aide de la Photographie elle-même, les éléments nécessaires pour l'exécution du lever topographique.

» *Première expérience de Phototopographie. Lever des carrières de marbre de Colonnata (Carrare) à* $\frac{1}{25000}$. — On rapporta de cette première campagne 17 panoramas (110 vues perspectives) qui déjà répondaient au but à atteindre formulé dans les instructions précitées. Avec quelques-unes de ces vues, on essaya à Florence de construire le lever, à $\frac{1}{25000}$, des carrières de marbre de Colonnata avec les courbes de niveau de 5^m en 5^m.

» *Alpes Maritimes. Lever de la chaîne de l'Argentière.* — Après d'importantes modifications apportées à l'appareil qui avait servi et en adoptant le nouveau procédé photographique au gélatinobromure, l'ingénieur Paganini put, l'année suivante, 1879, représenter à l'échelle de $\frac{1}{25000}$ la chaîne de l'Argentière qui est la partie la plus élevée et la plus rude des Alpes Maritimes, avec les courbes altimétriques de 10^m en 10^m, en employant des panoramas pris de 15 stations élevées et formant un total de 113 vues obtenues en deux mois et demi de campagne seulement. Le lever exécuté à Florence, en hiver, comprend 73^{kmq} et l'on y a déterminé 490 points cotés.

» *Levers dans les Alpes Graïes à* $\frac{1}{50000}$. — En 1880, le même opérateur commença le lever, à $\frac{1}{50000}$, de la zone des Alpes Graïes limitée par les vallées de l'Orco, de Valsoana, de Cogne et de Valsavaranche, circonscrivant le massif des Alpes le plus élevé qui soit complètement italien, et que dominent les hautes cimes du Gran Paradisio, de la Grivola, du Gran S. Pietro, etc.

» Pour effectuer le lever de cette zone, qui comprend environ 1000^{kmq}, l'ingénieur Paganini attendit jusqu'en 1885, en

---

Métiers, et nous ne craignons encore, à l'heure qu'il est, aucune comparaison avec les travaux analogues, même avec les cartes italiennes, en dépit des progrès de la Photographie et de toutes les facilités qu'elle offre aujourd'hui aux opérateurs.

se servant, à partir de 1884, d'un nouvel appareil phototopographique plus parfait, que l'Institut géographique fit construire à l'*Officina Galileo*, sur les dessins du susdit ingénieur. Celui-ci imagina encore trois instruments graphiques qui rendent plus simple et plus expéditive la construction du plan topographique déduit des panoramas.

» *Conclusion concernant les travaux exécutés. Résultat obtenu.* — Le dernier travail mentionné, quoique inachevé, a servi à démontrer amplement que la méthode phototopographique était susceptible d'être employée avec avantage dans les levers, aux échelles de $\frac{1}{25000}$ à $\frac{1}{50000}$, des groupes les plus importants des Alpes. Le problème technique considéré en lui-même était donc pratiquement résolu. »

Il n'est point nécessaire de continuer la traduction de la Notice italienne, car les passages que nous venons de citer suffisent amplement pour établir le très grand mérite de l'ingénieur Paganini Pio. Personne plus que nous d'ailleurs n'est disposé à rendre pleine et entière justice à la persévérance et au talent qu'il a déployés en entreprenant et en menant à bonne fin des travaux particulièrement difficiles et pénibles dans les hautes montagnes.

Nous ajouterons, toujours avec un vif sentiment d'estime pour cet habile opérateur, qu'il a continué, depuis 1885 jusqu'à ces dernières années, à perfectionner ses instruments et ses méthodes et que son exemple a certainement contribué à encourager ceux qui, dans son propre pays, dans les pays voisins et jusqu'au Canada, ont cherché à mettre à profit les puissantes ressources de la Photographie, dans l'intérêt de la Cartographie.

La comparaison que pourraient être tentés de faire entre lui et Meydenbauer ceux qui se sont laissé imposer par le bruit fait autour du nom de ce dernier, ne serait sûrement pas en faveur de l'architecte allemand.

Nous ne marchandons donc pas nos éloges à l'adresse de l'ingénieur Paganini, en en réservant une partie pour le général Ferrero qui lui a donné les moyens de pratiquer son art. Mais nous demandons au lecteur désintéressé de faire un

simple rapprochement de dates et de se reporter à celles de nos publications (nous entendons par là nos Mémoires imprimés et les planches qui les accompagnent, de 1854 à 1873, le Mémoire présenté à l'Académie des Sciences en 1859 et le Rapport auquel il a donné lieu, la Notice sur le plan de Grenoble en 1864, etc.), et nous le prions de se prononcer sur ces deux questions : d'où l'initiative est-elle venue et jusqu'à quel point le problème technique pratique était-il résolu en France, quand le lieutenant Manzi Michele s'est avisé, en 1875, de recourir à la chambre obscure pour tenter de faire des levers topographiques et quand l'Institut géographique, mieux inspiré, a repris la question en 1878, après avoir tout d'abord hésité à l'aborder.

La Notice que nous avons citée si longuement renfermait encore, à la vérité, un paragraphe qui attribuait à l'Italien Porro la première idée d'utiliser la Photographie dans les études de terrain. On retrouve d'ailleurs la même assertion reproduite dans plusieurs articles de l'ingénieur Paganini Pio, ainsi que dans d'autres publications italiennes, dont l'une, du capitaine Carlo Marselli, destinée surtout à rendre compte de la construction de la carte des Alpes et à faire l'éloge de celui qui l'a entreprise, contient en outre un aperçu historique de l'application de la perspective au lever des plans ([1]).

Tout en excusant jusqu'à un certain point l'enthousiasme patriotique de ce dernier auteur, il nous serait impossible de ne pas signaler, dans cet historique et dans quelques autres passages de l'œuvre de M. Carlo Marselli, les lacunes, les erreurs et les exagérations de style qui la déparent. Nous avons eu déjà l'occasion de le faire dans une autre circonstance et M. Paganini Pio, mal renseigné lui-même, nous a reproché ce qu'il appelle nos prétentions à l'invention de la méthode dont il fait un si habile usage.

Il convient donc de bien préciser les faits, en suivant une à une les indications données par le seul M. Carlo Marselli, le plus documenté des auteurs italiens, et qui semble néan-

---

([1]) *La Fototopografia applicata alla costruzione delle carte alpine.* (*Illustrazione militare italiana;* Milano, juillet 1892, p. 223.)

moins ignorer, mal connaître ou négliger, de propos délibéré, la plupart des publications françaises fondamentales citées, avec leurs dates, dans les premières parties de ce travail.

Afin d'éviter toute espèce de confusion, toute fausse interprétation, nous reproduirons ici les passages essentiels de l'exposé historique de M. Carlo Marselli :

« L'idée d'utiliser un dessin perspectif pour la construction du plan correspondant, dit-il, est de date ancienne et a été traitée par Jean-Henry Lambert dans sa *Perspective libre*, publiée à Zurich en 1759. Dans l'instruction rédigée par Beautemps-Beaupré pour l'expédition de la frégate *la Bonite*, qui allait faire le tour du monde (1836-1837), on recommandait de faire le lever des côtes sur lesquelles on ne voulait pas ou l'on ne pouvait pas débarquer, en en dessinant la perspective de deux stations dont la distance était connue ou déterminée, en mesurant avec un sextant ou un autre goniomètre les angles visuels dirigés sur quelques-uns des points communs aux deux perspectives, déterminant ainsi par intersection la projection de ces points sur le plan du lever entre lesquels les points remarquables étaient insérés en se servant des dessins perspectifs.

» Telle fut à peu près la méthode suivie en 1835-1838, par Albert La Marmora et de Candia dans la construction de la carte de l'île de Sardaigne.

» La Marmora dit, en effet : « Comme il était impossible à » deux personnes seules, comme nous étions, de lever à la » planchette une surface de 700 milles carrés en peu d'années, » nous adoptâmes un procédé aussi expéditif que satisfaisant, » pour nous procurer, à une petite échelle, les accidents » principaux du terrain. Ce moyen consiste à dessiner, à » chaque station, le panorama de tout le pays environnant, » et de faire, comme on dit, un *tour d'horizon* avec le théo- » dolite, en prenant une sphère de rayons tout autour de » soi. Nous plaçâmes partout des signaux, ou nous nous » servîmes de ceux que la nature offre tout faits. En multi- » pliant ainsi les stations à l'infini, les intersections étaient » multipliées et le terrain sortait comme par enchantement

» sur le papier, à mesure que nous parcourions les sta-
» tions. ». (Textuellement en français dans le Mémoire de M. Marselli).

Après quelques réflexions sur l'analogie qui existe entre la méthode des perspectives et les levers à la planchette, M. Carlo Marselli ajoute :

« Il était donc naturel que l'invention de la Photographie donnât naissance à l'idée d'une application possible de cette découverte au lever topographique, idée qu'Arago exprime dans les termes suivants :

« Les images photographiques étant soumises, dans leur
» formation, aux règles de la Géométrie, permettront, à l'aide
» d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions
» exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles
» des édifices.... Nous pourrions, par exemple, parler de quel-
» ques idées qu'on a eues sur les moyens rapides d'investiga-
» tion que le topographe pourra emprunter à la Photographie. »

« Effectivement, ajoute l'auteur, si l'on a deux dessins perspectifs d'un objet, et que les éléments de la perspective soient connus, la détermination des différentes dimensions de cet objet n'est plus qu'un problème de Géométrie descriptive facile à résoudre.

» L'application de la Photographie à la construction des cartes attendait donc seulement que l'on trouvât un moyen d'obtenir des images photographiques qui eussent la qualité de perspectives géométriques desquelles on pût déterminer exactement les éléments.

» Le problème fut étudié tant en Italie qu'en Allemagne et en France, *mais comme c'est seulement en Italie que l'on est arrivé à obtenir une vraie et bonne Phototopographie*, je me bornerai à retracer sommairement les différentes phases des études faites par les Italiens pour parvenir à ce résultat dont aujourd'hui notre pays peut à juste titre s'enorgueillir (*meritamente andar superbo*).

» Déjà en 1855 le professeur Porro avait imaginé un appareil photographique qui devait servir exclusivement à la

Topographie, mais la mort l'enleva avant qu'il eût achevé ses études sur ce sujet (*concretato i suoi studi in proposito*). »

Sans nous exposer à retenir trop longtemps l'attention du lecteur sur chacun des passages que nous venons de citer, il est cependant indispensable de lui procurer le moyen d'en apprécier l'exactitude.

Si l'idée d'utiliser les vues pittoresques à la construction des plans se trouve dans *la Perspective libre* du célèbre géomètre Lambert, publiée en 1759, et l'on pourrait la faire remonter encore plus haut, jusqu'à l'invention du *trait perspectif* en Italie, au XVIe siècle (1), il n'en est pas moins vrai qu'aucune méthode précise n'avait été indiquée, qu'aucune carte, aucun plan topographique construits à l'aide de paysages n'avaient été mis sous les yeux du public jusqu'à Beautemps-Beaupré. C'est ici surtout que l'érudition de M. Carlo Marselli et celle de M. Paganini Pio lui-même se trouvent en défaut, car le premier ne connaît que l'*instruction* rédigée vers 1836, pour l'expédition de *la Bonite,* et le second va jusqu'à ranger Beautemps-Beaupré au nombre des *Français distingués qui ont fait des essais de Photographie.* Ni l'un ni l'autre ne connaîtraient donc les magnifiques travaux hydrographiques du célèbre ingénieur, ni son Traité fondamental publié en 1802 et en 1808, à la suite de son voyage avec d'Entrecasteaux, exécuté de 1791 à 1794, où l'on trouve la *première carte* levée à l'aide de vues pittoresques également reproduites par la gravure.

La Marmora et de Candia, dont nous ne contestons, en aucune façon, le très grand mérite, n'avaient fait, en employant de 1835 à 1838, des panoramas dessinés à main levée et des mesures angulaires plus ou moins nombreuses, pour faire la carte de la Sardaigne, qu'utiliser très ingénieusement une méthode publiée depuis trente ans et connue alors des hydrographes instruits de tous les pays. Les Italiens, en particulier,

(1) On trouverait même là une méthode, celle qui est suivie pour la restitution des plans d'édifices, tandis que le passage du Traité de Lambert auquel il est fait allusion est absolument vague et n'a jamais eu de sanction dans la pratique.

ne devaient pas ignorer que l'illustre savant français avait relevé, par cette méthode, les côtes d'Italie, de Dalmatie, etc.

Telle est la première phase de la question, celle qui correspond à l'emploi des vues dessinées à main levée.

Pour la seconde, M. C. Marselli, reproduisant, après beaucoup d'autres, le passage du rapport d'Arago, en conclut que rien n'était plus simple, en effet, que d'appliquer la Photographie aux levers topographiques. On a vu aussi qu'après avoir rappelé assez négligemment que le problème avait été étudié tant en Italie qu'en Allemagne et en *France*, il avait dit qu'il ne s'occuperait que des travaux des Italiens, bien supérieurs à ceux des autres pays, et il avait, en conséquence, commencé par Porro.

Il faut cependant convenir que l'application de la Photographie à la Topographie ne paraissait pas si facile à ceux qui ont cherché, les premiers, à résoudre le problème.

Les uns, redoutant les déformations produites par les objectifs, imaginaient les chambres noires cylindriques (1); d'autres, sacrifiant l'avantage inappréciable de reproduire la nature sous ses aspects familiers, inventaient des appareils qui semblaient donner plus sûrement et plus immédiatement les angles nécessaires à la construction des plans, mais avec des anamorphoses inadmissibles (2).

Il a fallu lutter pendant longtemps contre ces aberrations de l'esprit, plus dangereuses que celles de l'objectif, et M. Paganini Pio aura beau nous accuser de manquer de modestie, nous avons le droit d'affirmer que nous avons été le premier et même le seul, depuis 1852 jusqu'en 1860, date de l'approbation donnée à notre Mémoire par l'Académie des Sciences, à enseigner et à défendre l'emploi des images ordinaires obtenues sur des tableaux plans. Nous avions, d'ailleurs, établi

(1) Martens, Sutton, Garella, Johnson, Brandon, Silvy et, plus récemment, Moëssard et Damoiseau, la plupart d'ailleurs, parmi les premiers, sans autre préoccupation que d'obtenir des panoramas étendus et quelques-uns seulement supposant que l'on pourrait en tirer parti pour l'étude du terrain.

(2) La planchette photographique du docteur Chevallier; le périgraphe instantané du colonel Mangin qui est beaucoup plus récent, est plutôt un problème d'optique géométrique résolu.

complètement et appliqué la méthode dont cet ingénieur fait usage, comme tous ceux qui produisent des œuvres sérieuses, en recourant d'abord à la chambre claire dont les images, comprenant une grande amplitude (60° au moins), étaient rigoureusement exemptes de déformations.

En essayant ensuite d'utiliser la Photographie, nous n'avions pas manqué, avant tout, de nous rendre compte de l'amplitude du champ géométriquement exact des objectifs simples pris dans le commerce, puis de provoquer un perfectionnement sensible dans leur construction, enfin, de donner des règles pour évaluer et corriger les erreurs angulaires dues à l'aberration (1). D'ailleurs, peu de temps après l'achèvement de cette étude, l'opticien anglais Dallmeyer réalisait un grand progrès sous le rapport qui nous intéressait le plus, en imaginant les objectifs *triplet* aplanétiques dont le champ net et correct atteignait 60°, et que nous avons employés aussitôt qu'ils furent connus à Paris.

Il est donc au moins étrange de rencontrer dans le Mémoire de Porro, publié en 1863, les objections suivantes à ma méthode, et qui auraient conduit leur auteur à en imaginer une autre qu'il suffira sans doute de décrire, d'après lui, sans qu'il soit nécessaire d'y ajouter un long commentaire. Tout lecteur tant soit peu initié à la pratique de la Topographie et de la Géodésie et à la construction des instruments de précision pourra, en effet, se rendre compte des illusions, pour ne pas employer une expression plus sévère, d'un inventeur qui, fort heureusement, a eu d'autres inspirations plus saines.

Voici quelques-uns des principaux passages du Mémoire de Porro que je traduis encore de l'italien (2).

Après un préambule dans lequel l'auteur dit que « si les images photographiques sont semblables aux objets qu'elles représentent, au point de vue pittoresque, mais ne le sont pas au point de vue géométrique, cela est dû à la déformation

---

(1) *Mémorial de l'officier du génie*, n° 17 (Paris, Mallet-Bachelier; 1864).

(2) *Notizia sulla applicazione della Fotografia alla Geodesia. — Il Politecnico*, anno IX, 1863; p. 709 (Milano, Soldini).

produite par les objectifs; néanmoins, ajoute-t-il, en limitant le champ à une faible amplitude, le colonel Laussedat [1], professeur de Géodésie à l'École Polytechnique de Paris, a obtenu, en employant des objectifs communs, des résultats qui, traduits en planimétrie par un procédé facile à imaginer, étaient acceptables dans les limites d'exactitude requises dans la Topographie militaire.

» De ces résultats partiels, toutefois, à une application vraiment utile et pratique de la Photographie à la Géodésie, il restait beaucoup à faire, et on le comprendra aisément, si l'on réfléchit que, dans les opérations courantes des ingénieurs et des géomètres, *on a toujours besoin du tour d'horizon entier* à chaque station, d'où il résulte que si l'on doit limiter à *une dizaine de degrés* le champ utile de l'épreuve (*et cette limite est encore trop étendue si l'on a besoin d'une grande exactitude*), il faudrait, *à chaque station, pour accomplir le tour d'horizon*, en laissant un peu de marge sur chacune d'elles, *une cinquantaine de négatives*.

» En étudiant, à ce point de vue, le problème optique, j'ai trouvé une solution excellente qui consiste à rendre concentriques toutes les surfaces sphériques de l'objectif composé de trois substances réfringentes convenablement choisies. Ce système parfaitement achromatique produit sur la glace collodionnée sphérique elle-même des images mathématiquement exemptes de toute déformation avec une amplitude du champ qui, théoriquement parlant, serait bien près d'un hémisphère si la monture métallique ne les limitait pas nécessairement à 150° environ, d'où il suit qu'avec trois épreuves négatives au lieu de cinquante on peut avoir le tour entier de l'horizon et, au lieu de trois glaces, on en emploiera quatre au besoin.

. . . . . .

» Il restait à procéder à la déduction des plans et des profils

---

[1] Je n'étais alors que commandant et Porro m'avait pendant longtemps connu capitaine, alors qu'il suivait, comme je l'ai déjà dit, mes travaux avec beaucoup d'intérêt. Je ne saurais, d'ailleurs, manquer de faire remarquer qu'il n'hésite pas à les citer comme les premiers qui aient donné des résultats utiles, plus exacts, toutefois, qu'il ne paraît le croire.

du terrain de ces projections sphériques obtenues par la Photographie, ce qui serait extrêmement difficile et long par les procédés ordinaires de la Géométrie descriptive. J'ai donc imaginé, dans ce but, un théodolite spécial (*teodolito da tavolino*), muni d'une lunette avec laquelle, en visant sur les images photographiques comme on viserait sur les objets eux-mêmes en pleine campagne, on relève, dans le calme du cabinet, autant d'angles horizontaux et verticaux que l'on veut, identiques avec ceux que l'on obtiendrait sur le terrain au moyen du théodolite ordinaire et qui permettent soit de calculer trigonométriquement, soit de construire graphiquement le plan le plus exact et le plus détaillé et tous les profils désirables. Grâce à la puissance optique de ce théodolite, on peut employer des photographies très petites et pour ainsi dire microscopiques, si bien que j'ai pu réduire la distance focale de l'objectif à 63^{mm} et que la boîte du daguerréotype complet et prêt à être mis en station est assez petite pour que l'on puisse sans embarras la porter littéralement dans la poche. »

Je serais bien tenté de faire quelques réflexions, mais j'ai l'espoir que le lecteur m'en dispensera et saura bien les faire lui-même ; je continue donc simplement à citer la fin de ce Mémoire :

« Il est clair, continue Porro, que ce moyen est principalement avantageux dans les pays de collines et dans la montagne, et beaucoup moins dans la plaine, où il peut cependant rendre encore d'utiles services si l'on opère par les procédés de la célérimétrie et en employant en même temps le tachéomètre.

» Ceux qui, pour les études d'un chemin de fer dans les Alpes ou dans les Apennins, auraient parcouru une seule fois, par exemple, les vallées du Tessin, du Blenio, de Campo et de la Cristallina, de Bellinzona à Dissentis, en employant cinq jours et un nombre peu embarrassant de glaces collodionnées, auraient recueilli cent fois plus d'éléments très fidèles et très exacts pour la rédaction et la discussion du projet de chemin de fer que n'avaient pu le faire avec un personnel nombreux,

une grande dépense et une grande fatigue, en cinq mois de l'année 1845, les ingénieurs Carbonnazzi et Porro (le soussigné) auxquels est due la première rédaction sérieuse de ce projet.

» Le professeur de Géodésie,

Major Porro. »

Dans une Note qui suit cet exposé fantaisiste, Porro ajoute que le tachéomètre lui avait cependant déjà donné une grande avance sur les autres opérateurs, « mais, poursuit-il, aujourd'hui la Photographie sphérique l'emporte à son tour tout autant sur le tachéomètre lui-même (*di altrettanto a sua vece la fotografia sferica vince oggi lo stesso tacheometro*). »

On ne saurait rien dire de plus fort en faveur de la Photographie *sphérique* ou de la Photographie tout court, car on est parvenu à faire très exactement et plus sûrement avec la Photographie plane ce que rêvait Porro et qui n'a jamais été réalisé, ni par lui ni par d'autres.

Si les ingénieurs italiens, et M. Paganini Pio spécialement, étaient tentés de soutenir qu'ils se sont inspirés des idées de Porro, je les prierais de me dire pourquoi ils n'ont pas eu recours à la Photographie sphérique et se sont contentés de revenir à la méthode dont Porro me reconnaissait comme l'auteur, et qu'il eût mieux fait d'adopter que de s'atteler à une invention chimérique à laquelle il est difficile d'admettre qu'il ait pu croire lui-même.

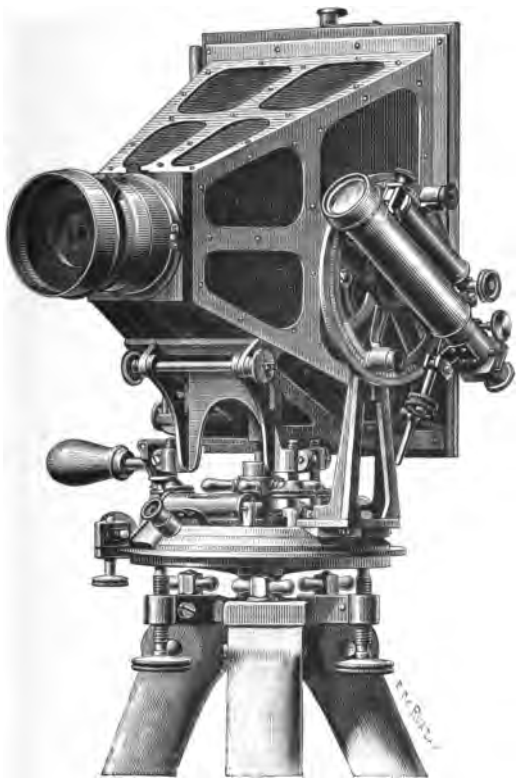
Quoi qu'il en soit, en dehors de l'étrange Mémoire de Porro, la littérature italienne ne contient rien autre chose, à notre connaissance, que la reproduction fidèle des règles et des procédés que nous avons indiqués et publiés dans les numéros 16 et 17 du *Mémorial de l'officier du génie*, en 1854 et 1864 (1).

---

(1) *Voir* la *Fototopografia applicata alla costruzione delle carte alpine* de Carlo Marselli, dans l'*Illustrazione militare italiana*, 1892, pages 230 à 237, où se trouve résumé le Mémoire fondamental de Paganini. On y reconnaîtra aisément les principes et jusqu'aux figures qui m'ont servi à établir la méthode dans les deux Mémoires dont il s'agit.

Ce qui est hors de doute, c'est que les Italiens font d'excellente Phototopographie, en suivant la méthode française; leur véritable mérite, que je suis heureux de reconnaître,

Fig. 3.



a été de persévérer à en faire usage dans des conditions souvent très pénibles et de donner ainsi un excellent exemple, qui a été suivi, notamment, par les ingénieurs autrichiens et canadiens, dont il nous reste à faire connaître les essais et les œuvres.

Nous nous contenterons, en terminant, de donner le premier lever phototopographique de M. Paganini Pio, celui des

carrières de Colonnata, exécuté en 1878 (*Pl. II*), et la vue (*fig.* 3) du photothéodolite assez compliqué de cet ingénieur, qu'il continue à perfectionner, en priant le lecteur dè les comparer d'une part avec les plans de Buc (1861) (1) et de Sainte-Marie-aux-Mines (1868) (2) et, de l'autre, avec les appareils très simples qui nous ont servi à les construire (3).

NOTE ADDITIONNELLE.

L'article précédent était écrit et imprimé quand nous avons reçu le numéro du mois de mars 1894 de la *Rivista Marittima*, qui contient un nouveau Mémoire de l'ingénieur Paganini Pio, ayant pour titre : *Nuovi appunti di Fototopografia e applicazione della Fotogrammetria all' Idrografia* (4).

Ce travail commence par des considérations générales sur l'association de la méthode photographique avec la méthode topographique ordinaire. Ces considérations ont été suggérées à l'auteur à la suite d'un essai d'exécution simultanée de la feuille 6-7 (Monte Spluga) de la nouvelle Carte d'Italie, à l'échelle de $\frac{1}{50000}$, et leur conclusion est que, malgré le succès de l'expérience, qui a consisté à relier les zones des grandes altitudes de la carte obtenues par la Photographie, et celles des terrains moins accidentés levées à la planchette, on a éprouvé quelques difficultés, d'ailleurs peu importantes, à effectuer les raccordements, difficultés qui eussent été sûrement évitées si l'un des opérateurs avait eu à sa disposition le travail de l'autre, avant de commencer le sien. Ceci revient à dire qu'il vaudrait

---

(1) *Voir* 2e Série, t. V, p. 290 et 291.

(2) *Voir* 2e Série, t. IV, *Pl. VI* et le *Mémorial de l'officier du génie*, n° 22, année 1874.

(3) *Voir* le *Mémorial de l'officier du génie*, nos 17 et 22, années 1864 et 1874.

(4) *Rivista Marittima*, marzo 1894, anno XXVII, fascicolo III. Roma, tipografia del Senato.

mieux que les deux brigades opérassent successivement que simultanément et n'a rien que de fort naturel.

Les deux Chapitres suivants du Mémoire sont consacrés à la description et à la manière d'employer un nouveau modèle de l'appareil phototopographique, représenté très complètement à l'aide de photographies et de dessins géométriques soignés.

La principale modification apportée à l'ancien appareil consiste dans la suppression de la lunette latérale et son remplacement par un oculaire positif de Ramsden fixé au centre du châssis de la plaque de verre dépoli, qui est percée d'un trou pour le recevoir, l'objectif photographique servant d'objectif optique.

Nous n'avons pas à entrer ici dans d'autres détails et nous renvoyons le lecteur au Mémoire original, en maintenant notre préférence pour les appareils plus simples.

Dans le troisième Chapitre, M. Paganini Pio applique aux vues obtenues avec son nouvel instrument les principes connus, en insistant sur l'emploi du calcul trigonométrique et sur les moyens de vérification qu'il est en état de fournir à tous les opérateurs qui y ont recours.

Dans le cinquième et dernier Chapitre, l'auteur s'occupe de l'application de la Photogrammétrie à l'Hydrographie, de l'obtention des vues de côtes destinées à être annexées aux cartes marines et d'un *azimutal* phototopographique.

M. Paganini Pio a parfaitement raison de revenir ainsi au point de départ de notre méthode; je me contenterai de lui rappeler que, dans plusieurs circonstances, cette question a été traitée en France, notamment dans des conférences que j'ai faites au Conservatoire des Arts et Métiers au commencement de 1892, et à Pau, à la fin de la même année, au cours desquelles j'ai montré la vue de l'une des Bermudes, prise du large par la Photographie, dès 1863, sous la direction de l'amiral Miot, et le projet d'appareil suspendu de M. Piver, à installer à bord des navires ([1]). Je dois ajouter ici que nos marins et nos ingénieurs hydrographes, dont personne ne conteste la

---

([1]) Voyez : *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, 2e série, tome IV, p. 406 et 407, ainsi que la planche intercalée.

haute compétence, sont saisis de la question depuis près de deux ans et qu'ils l'étudient avec le plus grand soin [1].

Je ne puis d'ailleurs que continuer, comme je l'ai toujours fait, à féliciter M. Paganini Pio de sa persévérance et de la sagacité dont il donne tant de preuves depuis plus de quinze ans et à lui souhaiter très sincèrement de voir réaliser toutes les vues qu'il résume en ces termes dans la conclusion de son Mémoire :

« *Immensi vantagi ne può già trarre l'arte militare, la geologia e l'ingegneria, specialmente per studi di progetti ferroviari in montagna. Mi reservo in altra nota di dimostrare quale importanza può assumere il nuovo metodo per il rilevamento catastale, ora oggetto di questione vitale per le finanze d'Italia.* »

J'ai tout lieu d'espérer, après cela, que cet ingénieur, à qui j'ai toujours rendu la justice qui lui est due, reconnaîtra qu'il a été mal inspiré le jour où, après s'être plaint de l'indifférence des auteurs français pour ses travaux, il a écrit dans une Note ce passage, reproduit dans le Mémoire inséré au numéro de la *Rivista Marittima* dont je viens de rendre compte :

« *Solo il commandante Laussedat in sua recentissima nota, pubblicata nel* Paris Photographe, *settembre e ottobre* 1891, *e che a per titolo :* « Iconométrie et Métrophotographie. — Notice sur l'histoire de l'application de la perspective à la Topographie et à la Cartographie, » *parla pure favorevolmente dei lavori di Fotogrammetria dello stato maggiore italiano, quantoque i di lui elogi per questi lavori, a cui è impossibile negare un' incontestabile valore pratico, nascondono a malapena una certa acrimonia e un' astiosa critica, conseguenza naturale di apprezzamenti inesalti e di poca conoscenza dei lavori italiani di Fototopografia.* »

---

[1] M. le capitaine de frégate Poidlouë, délégué du Ministre de la Marine à l'Association française, en 1892, a remis, à ce sujet, un rapport circonstancié dont les conclusions sont adoptées en principe, si je suis bien informé.

Il y a, au contraire, très longtemps que je suis au courant des travaux phototopographiques entrepris par l'État-Major italien et que je les suis avec intérêt [1], mais je ne pouvais pas fermer les yeux et me dispenser de revendiquer ce qui nous appartient et dont M. Paganini Pio a si bien su profiter. S'il continuait à le méconnaître, je ne pourrais que lui retourner le reproche qu'il a voulu me faire, et que je ne méritais pas, et lui dire que c'est faute d'être remonté aux sources, c'est-à-dire à l'Ouvrage fondamental de Beautemps-Beaupré, à mes Mémoires, dont le premier publié date de 1854, et aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, de 1859 à 1864, qu'il paraît ignorer de qui il procède.

Il n'y a là ni *acrimonie* ni *critique envieuse* (je n'ai rien à envier, que je sache, aux auteurs et aux opérateurs qui m'ont suivi et imité, et je leur suis bien plutôt très sympathique, à la condition cependant qu'ils soient de bonne foi); il s'agit seulement d'une mise au point rigoureuse et d'une constatation de faits incontestables d'après des documents imprimés à des dates précises.

---

[1] Mon excellent ami, le professeur Govi, m'avait adressé, au mois de mars 1888, la Notice que j'ai analysée ci-dessus, accompagnée d'un exemplaire gravé des trois essais phototopographiques que M. Paganini Pio a publiés seulement en juillet-août 1889, dans la *Rivista Marittima*, à la fin de son Mémoire intitulé : *La Fototopografia in Italia*. J'étais donc parfaitement au courant de tout ce qui avait été fait de l'autre côté des Alpes, en septembre-octobre 1891.

(*A suivre.*)

LE

CALCUL SIMPLIFIÉ

PAR LES PROCÉDÉS MÉCANIQUES ET GRAPHIQUES.

CONFÉRENCES

FAITES AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS, LES 26 FÉVRIER, 5 ET 19 MARS 1893,

Par M. Maurice d'OCAGNE,

Ingénieur des Ponts et Chaussées.

TROISIÈME CONFÉRENCE :

LES TABLES GRAPHIQUES OU ABAQUES. LA NOMOGRAPHIE.

MESSIEURS,

L'application de la méthode graphique à la construction de Tableaux de calculs tout faits a pris naissance, on peut le dire, le jour où Descartes a réalisé l'intime union de l'Analyse et de la Géométrie par cette admirable invention de la Géométrie analytique qui eût suffi, à elle seule, à rendre son nom impérissable.

Mais si le principe primordial, régissant cette application si utile de la Science, peut être considéré comme acquis dès ce moment, il n'en faut pas moins reconnaître que sa mise en œuvre, à ce point de vue spécial, exigeait, en outre, le con-

cours de quelques autres notions qui ne se sont dégagées que peu à peu, au fur et à mesure que se sont fait sentir les exigences nouvelles de la pratique.

Je ne puis songer à entrer ici dans beaucoup de détails au sujet de l'historique de la question, un peu parce que le temps me ferait défaut, mais plutôt encore en raison du manque de données précises à cet égard. Si, en effet, il est relativement facile de suivre la marche des idées dans l'ordre de la théorie pure et de discerner les véritables auteurs des découvertes dont elle s'est successivement enrichie, il n'en va pas de même dans le domaine des applications, et cela pour une raison bien simple, c'est qu'en général les procédés d'un art dérivé de la Science prenant seulement naissance lorsque s'en manifeste le besoin, surgissent un peu au hasard des circonstances, réinventés souvent par plusieurs auteurs, les uns à l'insu des autres, parfois même simultanément, et ne venant que longtemps après se grouper dans un ordre logique pour former un corps de doctrine bien défini.

De là, une difficulté spéciale pour établir nettement les droits de priorité de tel ou tel auteur. Je me garderais bien de m'ériger en juge en de pareilles matières ; aussi ne chercherai-je pas à fixer d'une manière absolue devant vous la genèse du sujet que je dois traiter dans cette dernière Conférence, me contentant de quelques indications sommaires suffisantes pour jalonner à vos yeux le chemin parcouru.

Coup d'œil historique sur le développement de la Nomographie.

C'est, à ma connaissance, dans l'*Arithmétique linéaire* de Pouchet, parue en 1795, que se rencontre le premier essai de construction systématique de Tables graphiques à double entrée, préparant la voie aux méthodes dont je vais avoir à vous entretenir. A dater de cette époque, je note, d'après M. Lalanne, parmi les travaux où intervient le même mode de représentation graphique des formules à deux entrées, ceux de d'Obenheim (*Balistique;* 1814, — *Mémoire sur la plan-*

chette du canonnier; 1818), de Bellencontre (*Construction graphique des Tables Lombard;* 1830), d'Allix (*Nouveau système de tarifs;* 1840). Mais il semble que ce soit à Terquem, le savant fondateur, avec Gerono, des *Nouvelles Annales de Mathématiques,* que l'on doive faire honneur d'avoir énoncé d'une façon à la fois précise et définitive le principe de la méthode (*Mémorial d'Artillerie,* n° 3; 1830).

Je ne puis croire, pour ma part, que les essais que je viens de citer constituent, à cet égard, tout le bilan des quarante premières années de ce siècle.

Il est pourtant avéré que cet emploi spécial de la méthode graphique n'avait pas encore pénétré dans la pratique courante, lorsque, vers 1842, M. Léon Lalanne, ingénieur des Ponts et Chaussées, en imaginant le principe de l'anamorphose, dont je vous entretiendrai tout à l'heure, vint donner une vive impulsion à cet ordre d'applications. Un des premiers exemples choisis par cet auteur était bien fait d'ailleurs pour attirer sur son invention l'attention des hommes techniques. Il s'agissait, en effet, de Tableaux graphiques ou *abaques* (le mot, pris dans cette acception particulière, est de M. Lalanne) destinés à fournir, par une simple lecture, le résultat des calculs de terrassement requis pour l'établissement d'une route ou d'une voie ferrée, calculs qui avaient exigé jusque-là de si longues et de si pénibles opérations! Or, on était à l'époque où s'ouvrait la construction des premières amorces de notre réseau de chemins de fer. Les services à retirer de l'emploi des abaques se manifestaient donc d'une manière particulièrement sensible, et, dès cette heure, on peut dire que la démonstration de leur utilité était faite aux yeux des ingénieurs.

Les cas de la pratique auxquels peut s'appliquer le principe de l'anamorphose étant fort nombreux, les applications ne tardèrent pas à s'en multiplier. Il n'y aurait aucune utilité à entrer dans quelque détail à ce sujet, mon but étant principalement ici de dégager les idées générales qui se rapportent à la simplification du calcul, et non de m'attacher à tel ou tel fait particulier.

Le principe de l'anamorphose était susceptible d'être généralisé. Cette généralisation, dont j'aurai aussi à vous parler,

se trouve indiquée dans un important Mémoire dû à M. Massau, ingénieur au corps belge des Ponts et Chaussées.

Ainsi que je vous l'ai dit à la fin de ma précédente Conférence, un des principaux avantages des abaques sur les barèmes tient à la possibilité de multiplier les entrées. Or, cette multiplication des entrées peut être obtenue de diverses façons. Une de celles qui présentent le plus de généralité a été donnée par M. Lallemand, ingénieur au corps des Mines, dont les *abaques hexagonaux,* imaginés vers 1884 en vue des besoins du service du Nivellement général de la France, se sont prêtés, en outre, à nombre d'autres applications.

Je me vois ici, Messieurs, dans la nécessité de me départir de la règle imposée par la sagesse à quiconque s'adresse au public. Le *moi* est, je le sais, toujours haïssable; mais je ne puis guère aujourd'hui ne pas manquer un peu à la leçon contenue dans ce précepte, une des raisons pour lesquelles M. le colonel Laussedat a bien voulu m'inviter à prendre la parole dans cette enceinte, étant précisément de vous faire connaître le résultat de mes recherches dans cette voie.

Force est donc de m'excuser auprès de vous de commettre une petite infraction à l'ordinaire devoir du conférencier, en vous disant d'abord que je suis parvenu de mon côté, en 1884, à une méthode de représentation graphique des formules mathématiques, dite des *points isoplèthes*, qui, outre certains avantages spéciaux que je vous signalerai plus tard, a celui de permettre la multiplication des entrées pour des types de formules analytiquement plus générales que celles auxquelles s'applique le principe des abaques hexagonaux, ensuite que j'ai été assez heureux pour fondre la théorie des diverses espèces d'abaques en un corps de doctrine unique auquel j'ai donné le nom de *Nomographie* (de νόμος, *loi,* γράφω, *je dessine*) (1).

La Nomographie, permettez-moi de vous le faire remarquer

---

(1) Cette théorie, accompagnée d'un grand nombre d'applications, se trouve développée dans mon livre : *Nomographie. Les calculs usuels effectués au moyen des abaques* (Gauthier-Villars; 1891), que j'ai en l'honneur de voir couronner par l'Académie des Sciences.

en passant, n'a pas seulement l'avantage de synthétiser en un ensemble homogène des procédés qui pouvaient passer jusque-là pour quelque peu disparates, et, par suite, de faciliter singulièrement leur étude à ceux qui les abordent pour la première fois, mais encore de permettre de multiplier dorénavant ces procédés, d'après une marche rationnelle, en les appropriant aux exigences nouvelles auxquelles on pourra avoir affaire.

Après ce court aperçu historique sur les matières qui vont faire l'objet de cette Conférence, je vais aborder l'exposé des principes en m'efforçant comme précédemment de faire appel au plus petit nombre possible de notions mathématiques.

Principe des abaques ordinaires à deux entrées.

Je dois, en premier lieu, vous indiquer le principe des abaques ordinaires à deux entrées. L'énoncé de ce principe est d'une remarquable simplicité lorsqu'on l'exprime dans le langage de la Géométrie analytique, mais quelques-unes des personnes qui me font l'honneur de m'écouter pouvant être insuffisamment familiarisées avec cette science, je vais essayer, sans y recourir, de leur donner une idée assez nette de ce principe.

Toute formule à deux entrées peut, nous l'avons vu la dernière fois, être représentée par un barème sur un des bords horizontaux duquel on inscrit les valeurs de l'une des entrées, les valeurs de l'autre étant inscrites sur un bord vertical, et le résultat de la formule, pour chaque couple de valeurs des entrées, dans la case située à la rencontre de la colonne verticale correspondant à la première entrée et de la bande horizontale correspondant à la seconde; telle, la Table de Pythagore.

Supposons maintenant qu'à chaque valeur de chacune des entrées on fasse correspondre, non pas une division de l'axe correspondant, mais un simple point de cet axe, en cotant 1 le premier point de division, 2 le second, etc...

Ce changement, qui paraît presque indifférent au premier

abord, constitue en réalité une véritable révolution. Voici pourquoi : dans le premier cas, vous n'aviez strictement représenté que les valeurs des entrées inscrites sur le Tableau; dans le second, au contraire, vous pouvez considérer que *toute valeur* intermédiaire entre ces valeurs effectivement inscrites se trouve également représentée. Puisque, en effet, chaque valeur inscrite à côté d'un point représente, en prenant pour unité de longueur une des divisions marquées sur l'axe, la distance de ce point à l'origine, vous voyez que toute autre valeur est représentée par le point dont elle exprime la distance à l'origine. Par exemple, le point marquant le milieu de l'intervalle entre le point de division coté 3 et celui coté 4 peut être considéré comme représentatif de la valeur 3,5 de l'entrée correspondante.

On voit qu'il n'y a nulle difficulté, mètre en main, soit à marquer sur l'axe le point représentatif d'une quantité donnée, soit, au contraire, à déterminer la valeur de l'entrée répondant à un point donné.

On conçoit, en outre, qu'avec un peu d'habitude on puisse, à un certain degré d'approximation, suppléer à l'opération faite rigoureusement par une simple estimation à vue. Un œil tant soit peu exercé ne doit pas commettre ainsi une erreur supérieure à $\frac{1}{10}$. C'est là ce qu'on appelle faire une *interpolation* à vue.

Les entrées se trouvant ainsi représentées, vous voyez qu'à chaque résultat ne correspondra plus toute une case, mais bien un simple point, situé à la rencontre de la verticale correspondant à l'une des entrées et de l'horizontale correspondant à l'autre.

Vous pourriez, comme précédemment, inscrire chaque résultat à côté du point correspondant, mais ici se présente tout naturellement une idée nouvelle d'où va dériver toute la théorie qui suit.

Si, en effet, vous aviez fait l'inscription dont je viens de parler, vous ne sauriez manquer d'observer que les points correspondant à une même valeur du résultat seraient disposés le long de certaines lignes qu'il vous serait facile de tracer, de même que sur un plan de sondage on obtient les

courbes de niveau par la jonction des points de même profondeur, sur une carte météorologique, les *isobares* par la jonction des points où la pression est la même, etc...

Les courbes que vous obtenez ainsi sont dites, d'après Vogler, des *isoplèthes* pour l'élément qui sert à les coter et dont la valeur n'a besoin d'être inscrite qu'une fois à côté de chacune d'elles.

Ai-je besoin d'ajouter que la définition des isoplèthes est indépendante de cette sorte de constatation expérimentale d'où je viens de faire dériver leur notion?

Les règles de la Géométrie analytique nous enseignent, au contraire, à les tracer *à priori*, indépendamment du canevas dont, pour plus de clarté, je vous ai préalablement expliqué la disposition.

Vous voyez donc que de tout ce qui précède résulte ce fait, à savoir que, moyennant le tracé sur un quadrillage régulier (tel qu'il s'en trouve de tout imprimés dans le commerce) de courbes que la Géométrie analytique nous enseigne à tracer, nous effectuons *à la fois* le calcul dans tous les cas possibles de la formule à double entrée considérée, et leur inscription sous forme de Tableau méthodique.

Une fois le Tableau ainsi construit, voici comment on s'en sert : *on prend le point de rencontre de la verticale correspondant à l'une des données et de l'horizontale correspondant à l'autre et on lit la cote de la courbe isoplèthe passant par ce point.*

Remarquons que, par une extension toute naturelle, on peut appeler les verticales les *isoplèthes pour la première entrée* et les horizontales les *isoplèthes pour la seconde entrée*. Dans ces conditions, la règle de l'emploi de l'abaque s'énonce sous cette forme très simple, qui a l'avantage de se conserver pour les autres genres d'abaques que nous allons examiner par la suite :

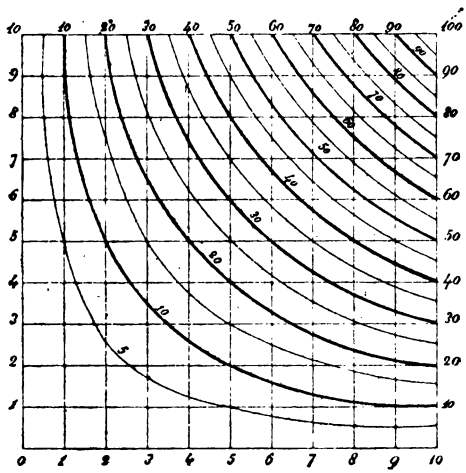
Il suffit de lire la cote de l'isoplèthe correspondant au résultat qui passe par le point de rencontre des deux isoplèthes correspondant aux données.

Voici, par exemple (*fig.* 27), dans ce système, l'abaque de la multiplication. C'est celui même qu'avait construit Pouchet.

Vous voyez que la verticale cotée 5 et l'horizontale cotée 3 se rencontrent sur la courbe dont la cote 15 est égale au produit 5×3.

Les courbes isoplèthes répondant au produit sont ici des hyperboles équilatères ayant pour asymptotes le bord inférieur et le bord vertical de gauche du Tableau. La Géométrie nous

Fig. 27.



permet de construire directement ces courbes. Mais, afin de recourir à un exemple plus élémentaire, je choisirai le cas de la formule

$$z = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

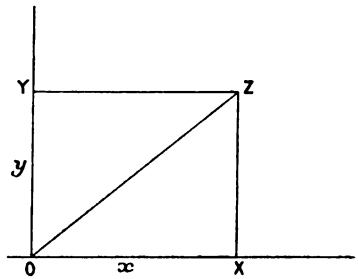
Prenons la variable x comme entrée sur le bord horizontal et la variable y comme entrée sur le bord vertical du Tableau, et cherchons sur quelle courbe (isoplèthe z) seront distribués les points correspondant à une même valeur de z.

Soient (*fig.* 28) X et Y les points correspondant respectivement aux entrées x et y. D'après la remarque faite plus haut, on a $OX = x$ et $OY = y$. Or, si Z est le point correspondant au résultat (coté z), on a

$$\overline{OZ}^2 = \overline{OX}^2 + \overline{XZ}^2 = \overline{OX}^2 + \overline{OY}^2 = x^2 + y^2 = z^2.$$

Ainsi, le point coté z se trouve à la distance $OZ = z$ de l'origine. Par suite, tous les points de même cote z, dont

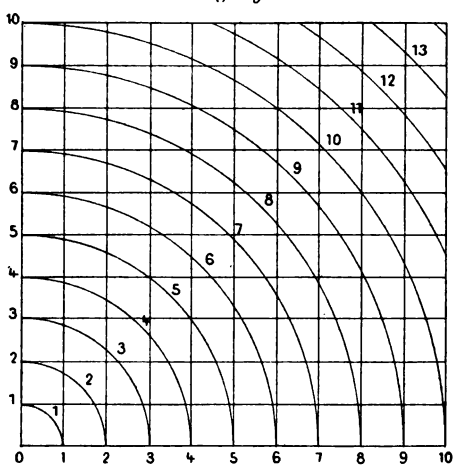
Fig. 28.



l'ensemble constitue l'isoplèthe répondant à cette valeur de z, sont situés sur un cercle de rayon z décrit de l'origine O comme centre.

On obtient donc l'abaque de la formule proposée (*fig.* 29),

Fig. 29.



en traçant, sur le quadrillage formé par les lignes correspondant aux deux données, les cercles ayant pour centre l'origine et pour rayons respectifs 1, 2, 3, etc... Vous pouvez apprécier

la rapidité d'exécution d'un tel abaque et l'économie de temps qu'il représente par rapport au calcul du barème à double entrée équivalent.

J'attirerai, en passant, votre attention sur le motif qui a fait donner aux Tableaux graphiques de calculs tout faits le nom d'*abaques*, jadis appliqué à des instruments de calcul d'autre sorte qui rentreraient dans la catégorie de ce que, dans ma première Conférence, j'ai appelé les instruments arithmétiques. Ce motif tient simplement à l'aspect de damiers (en grec, ἄβαξ) que présentent les Tableaux construits suivant le mode que je viens de vous dire. Vous allez voir que cet aspect va, dans les autres procédés de représentation graphique, se modifier peu à peu pour disparaître même complètement. Le mot n'en a pas moins été conservé pour désigner le genre tout entier.

De l'interpolation à vue sur les abaques.

Le problème de l'interpolation à vue est celui qui consiste à intercaler *par la pensée* entre les éléments cotés qui figurent sur les abaques les éléments répondant à certaines valeurs intermédiaires, afin d'étendre l'usage de l'abaque à un nombre de valeurs des données ou du résultat, supérieur à celui des valeurs qui y sont réellement inscrites.

Supposons d'abord que l'interpolation ne porte que sur le résultat. Reportons-nous, par exemple, à la *fig.* 27, et cherchons, au moyen de cet abaque, à effectuer le produit de 6 par 7. Nous voyons que le point de rencontre de l'horizontale 6 et de la verticale 7 tombe entre la courbe 40 et la courbe 45, vers le milieu de l'intervalle de ces courbes, mais cependant un peu plus près de la première que de la seconde. Nous sommes ainsi amenés à prendre pour résultat 42. Il va sans dire que jamais, pour un cas comme celui que je viens de vous citer, on n'aurait à recourir à un abaque, mais cet exemple m'aura permis, je l'espère, de vous faire saisir nettement le genre d'opération intellectuelle que comporte l'interpolation à vue.

Passons au cas plus compliqué où l'interpolation porte également sur les données. Supposons que nous ayons, par exemple, à effectuer le produit de 3,5 par 5,5. Si, par la pensée, nous nous figurons sur l'abaque l'horizontale correspondant à 3,5 et la verticale correspondant à 5,5, nous voyons que leur point de rencontre tombe très près de la courbe cotée 20 et nous prenons comme résultat approché 19. Exactement $3,5 \times 5,5 = 19,25$.

Vous voyez donc que le petit travail intellectuel que je viens d'analyser en détail permet, à un certain degré d'approximation qui dépend de l'habileté du lecteur, d'obtenir, au moyen de l'abaque le résultat de la formule représentée pour des valeurs intermédiaires entre celles qui s'y trouvent cotées. Ce petit travail intellectuel se fait d'ailleurs, en quelque sorte, inconsciemment, se traduisant par une simple habitude de l'œil.

Un lecteur exercé peut arriver ainsi, je le répète, à apprécier le $\frac{1}{10}$ de l'intervalle entre les valeurs cotées sur le Tableau. L'effort qu'il lui faut faire n'est, à la vérité, pas bien grand. Il peut cependant, à la longue, provoquer une certaine fatigue, l'œil devant suivre, au milieu de l'entrecroisement de lignes qui s'offre à lui, la trace de trois lignes à intercaler entre celles-ci, deux de ces lignes correspondant à l'interpolation sur les données, la troisième à l'interpolation sur le résultat.

Toutes ces considérations sont bien un peu arides. Je vous prierai toutefois de vouloir bien vous en souvenir tout à l'heure lorsque je vous entretiendrai des avantages que présente la méthode des points isoplèthes.

Un exemple d'abaque à deux entrées.

Avant d'aller plus loin, je tiens à mettre sous vos yeux un exemple d'abaque à deux entrées qui s'est présenté à moi dans les circonstances suivantes :

J'étais, en 1886, attaché comme ingénieur à l'arsenal maritime de Rochefort et je faisais, en cette qualité, partie d'une commission chargée de certaines études relatives à la siccité

des poudrières. Cette commission reconnut la nécessité de faire opérer deux fois par jour, dans chaque poudrière, à des heures déterminées, le calcul du poids de la vapeur d'eau contenue dans chaque mètre cube d'air. Les données pour un tel calcul sont la température de l'air et la tension de la vapeur d'eau qu'il contient, fournies l'une directement, l'autre indirectement par l'hygromètre à condensation. Celui-ci fait connaître, en effet, la température pour laquelle la tension considérée devient maxima ; il suffit donc, ayant lu cette température, de prendre, dans la Table de Regnault, la valeur correspondante de la tension pour la faire entrer dans le calcul.

Faire répéter deux fois par jour une telle opération dans chacune des poudrières par un agent subalterne, peu familiarisé avec le maniement des formules, n'eût guère été pratique. D'autre part, le calcul d'une Table à double entrée de quelque étendue eût exigé un temps qu'aucun des membres de la commission ne se trouvait en mesure de consacrer à un tel objet. La solution de l'abaque s'imposait donc ici tout naturellement.

La *Pl. III* donne une réduction de l'abaque que je fis alors construire ; cet abaque, dont l'établissement n'exigea que quelques heures, fournit le résultat de la formule pour 50 valeurs de la température, combinées avec 50 valeurs de la tension, soit pour 2500 états distincts des données de la question.

Je dois attirer votre attention sur une particularité de cet abaque ; elle rentre dans la catégorie des dispositions accessoires propres à simplifier les solutions dérivant de l'application pure et simple des principes fondamentaux.

La solution obtenue de prime abord dans ce cas spécial eût comporté, d'une part, un abaque donnant le poids de vapeur en fonction de la température et de la tension, de l'autre un complément constitué par la courbe traduisant la Table de Regnault et faisant connaître la tension en fonction de la température de condensation.

Chacun de ces deux Tableaux graphiques comportant une échelle de température, je les ai superposés en faisant coïncider ces deux échelles. Dans ces conditions, la verticale du premier abaque correspondant à une tension déterminée passe

par le point de la courbe du second graphique qui se trouve sur l'horizontale correspondant à la température de condensation. J'ai pu dès lors supprimer ces verticales sur le dessin et les remplacer par un axe marqué sur un transparent et qui pût se déplacer en conservant leur direction. Afin d'assurer l'orientation de cet axe, il a suffi de marquer sur le même transparent un axe perpendiculaire au premier, que l'on maintient en coïncidence avec l'horizontale AB tracée sur l'abaque.

Soit, par exemple, à déterminer le poids de vapeur d'eau pour une température ambiante de 30° et une température de condensation de 16°. En orientant le transparent comme il vient d'être dit, je fais passer son axe vertical (marqué en pointillé sur la figure) par le point de la courbe des tensions situé sur l'horizontale de 16°. Cet axe vertical représente alors l'isoplèthe correspondant à la tension; je prends son point de rencontre avec l'isoplèthe horizontale correspondant à la température de 30°, et je lis la cote de l'isoplèthe (droite divergente) correspondant au résultat, qui passe par ce point. Les cotes des isoplèthes du résultat se lisant ici à leur rencontre avec l'axe horizontal supérieur, je suis des yeux l'isoplèthe qui vient d'être définie jusqu'à cet axe et je lis : 13^{gr}.

Divers avantages des abaques.

Avant de passer en revue les divers procédés proposés pour obtenir des abaques de plus en plus simples en même temps que de plus en plus généraux, je tiens à appeler votre attention sur les principaux avantages qu'offrent les abaques considérés au point de vue générique, abstraction faite des différences qu'ils offrent entre eux.

Les principaux de ces avantages, par comparaison avec les barèmes, consistent dans l'économie du temps employé à dresser la Table que l'on a en vue, dans la condensation de celle-ci à l'intérieur d'un cadre plus restreint, dans la plus grande facilité de l'interpolation à l'estime, dans la possibilité, sur laquelle je reviendrai plus loin, d'étendre le nombre des entrées. En revanche, il convient de reconnaître que, sous les

dimensions usuelles, les abaques ne peuvent fournir qu'un nombre restreint, généralement trois, quatre au plus, de chiffres significatifs du résultat, tandis que les barèmes peuvent se prêter à tel degré d'approximation que l'on veut. Cela limite l'emploi des abaques pour certaines spécialités, comme la finance, où l'on opère sur un grand nombre de chiffres et où, par suite, ils ne peuvent servir qu'à obtenir une première approximation. Mais il existe un champ immense d'applications où le degré d'approximation qu'ils permettent est largement suffisant. Je crois inutile d'insister davantage sur ce point, les faits me semblant à cet égard d'une éloquence bien plus probante que tous les raisonnements du monde.

Je viendrai donc tout de suite à un autre avantage des abaques par rapport aux barèmes, dont il est assez délicat de faire saisir la nature sans avoir recours au pur langage mathématique, mais que je ne puis, vu son importance, passer sous silence. Je veux parler du calcul des *fonctions implicites*.

Lorsqu'une quantité à déterminer est liée à des quantités données par une formule qui la fait apparaître comme le résultat de certaines opérations arithmétiques effectuées sur ces données, nous disons qu'elle constitue une *fonction explicite* de ces quantités [1].

Si, par exemple, nous écrivons

$$x = ab + c^2,$$

nous voyons qu'en effectuant d'une part le produit de a par b, d'autre part le carré de c, et en en faisant la somme, nous obtenons la valeur de x. Donc, x est, dans ce cas, une fonction explicite de a, de b et de c.

Mais il se peut que le lien analytique unissant la quantité cherchée aux quantités connues soit autre que la simple indication des opérations arithmétiques à effectuer sur celles-ci pour avoir celle-là. Si, par exemple, l'inconnue x est racine de

---

[1] Cette définition des fonctions explicites ne comporte pas le même degré de généralité que la définition rigoureuse, donnée dans les Cours de Mathématiques, mais elle suffit entièrement à l'objet que j'ai ici en vue.

l'équation du second degré

$$x^2 + px + q = 0,$$

cela veut dire que x doit être une quantité telle que sa valeur substituée dans le premier membre de l'équation le rende identiquement nul, mais le seul aspect de la formule ne montre pas, comme dans le cas précédent, la suite des opérations arithmétiques à effectuer sur p et q pour obtenir la valeur de x. On dit alors que x est une *fonction implicite* de p et q.

On sait, à la vérité, dans nombre de cas, dégager l'inconnue de ces liens analytiques pour obtenir sa valeur sous forme explicite, pour l'*expliciter*, comme disent les mathématiciens. C'est en cela que consiste la *résolution des équations*. Tout le monde sait qu'en ce qui concerne l'équation que je viens d'écrire, on a les deux valeurs de x satisfaisant à cette équation par les formules

$$x' = -\frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

et

$$x'' = -\frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}.$$

Mais il s'en faut qu'on puisse, dans tous les cas, expliciter aussi facilement les valeurs de l'inconnue. Dès le troisième degré, c'est-à-dire pour l'équation

$$x^3 + nx^2 + px + q = 0,$$

les calculs deviennent terriblement compliqués.

Vous pressentez dès lors le genre de difficulté que l'on éprouve à construire un barème pour une fonction implicite. Pour chaque état des données la valeur de l'inconnue ne s'obtient que par application d'une méthode indirecte, exigeant parfois des calculs fort longs.

Avec les abaques, au contraire, la construction du Tableau n'est rigoureusement pas plus compliquée dans le cas des fonctions implicites que dans celui des fonctions explicites.

Quelle que soit, en effet, la nature de la fonction représentée, on détermine *séparément* les isoplèthes correspondant aux données et celles correspondant au résultat, et ces diverses courbes se trouvent effectuer, par leurs simples relations de position, les opérations qu'on aurait eu à exécuter pour obtenir les nombres à inscrire sur le barème, dans les cases du résultat.

Si je viens d'invoquer l'exemple de l'équation du troisième degré, c'est qu'il se prête encore à d'autres remarques utiles à faire au sujet des abaques. La première, déjà signalée, consiste en ce que les données n, p, q étant au nombre de trois, la Table correspondante doit être à triple entrée, ce qui, pour les raisons précédemment développées, doit faire renoncer à recourir à un barème. La seconde, c'est que, l'équation ayant, pour certaines valeurs des coefficients, trois racines réelles, il y aurait lieu, à supposer que l'on dressât une Table numérique, d'inscrire dans certaines colonnes à la fois trois groupes de résultats. Il est inutile d'insister sur l'incommodité qu'on éprouverait à réaliser une telle disposition.

Vous verrez, au contraire, qu'avec la méthode des points isoplèthes cette difficulté disparaît complètement. Chaque point du Tableau ne correspondra qu'à une racine, et les trois points répondant aux trois racines cherchées seront donnés simultanément par la lecture faite sur l'abaque.

Principe de l'anamorphose simple.

Revenons maintenant à l'examen des diverses méthodes proposées pour la construction d'abaques de types divers.

Toute formule faisant connaître une certaine quantité, en fonction de deux autres prises pour données, peut évidemment être traduite en un abaque du genre de ceux que nous avons seuls envisagés jusqu'ici, c'est-à-dire constitué par un système de courbes tracées sur un quadrillage régulier. On pourrait donc, à la rigueur, s'en tenir là lorsqu'on ne considère que le cas de deux entrées. Mais nous allons voir maintenant que l'on peut, en modifiant, dans certains cas, la dispo-

sition d'un abaque, en simplifier grandement la construction.

C'est à une telle fin que tend le principe de l'anamorphose, imaginé par M. Lalanne.

Voici, abstraction faite de tout développement mathématique, comment on peut expliquer son essence et son but :

Nous avons supposé précédemment que les valeurs des deux entrées étaient inscrites respectivement à côté des axes verticaux et horizontaux d'un quadrillage *régulier*, mais rien ne nous empêche de renoncer à cette régularité et de supposer, au contraire, que, sur certaines parties de l'abaque, les axes parallèles se rapprochent, alors qu'ils s'écartent en d'autres parties. Les courbes isoplèthes du résultat pourront encore être définies comme précédemment; ce seront toujours celles qui réuniront les points à côté desquels sera inscrite une même valeur du résultat, mais *leur forme aura changé*, et l'on pourra, dans certains cas, profiter de cette circonstance pour rendre cette forme plus simple.

On peut rendre cette explication plus concrète et peut-être plus frappante en supposant que l'abaque, construit d'après le mode indiqué en premier lieu, ait été dessiné sur un plan extensible tel, par exemple, qu'une feuille de caoutchouc.

Si nous donnons à toutes les parties de ce plan des dilatations égales à la fois dans le sens horizontal et dans le sens vertical, nous allons l'agrandir en conservant au Tableau qui y est dessiné la même disposition. Ses dimensions seront devenues doubles, triples, ... des primitives, mais sa configuration n'aura pas varié. Nous aurons toujours un quadrillage régulier, à mailles doubles, triples, ... des précédentes, qui sera encore recoupé aux mêmes points par des courbes rigoureusement semblables à celles de tout à l'heure, mais construites à une échelle double, triple, etc.

Donnons maintenant à notre plan des dilatations horizontales et verticales telles que tous les déplacements horizontaux des points d'une même verticale soient égaux, et que tous les déplacements verticaux des points d'une même horizontale soient aussi égaux, mais que ces déplacements varient d'amplitude respectivement d'une verticale à la suivante ou d'une horizontale à la suivante. Cette fois, non seulement le Tableau

changera de dimensions, mais encore il se sera déformé ; dans certaines parties, les verticales, ou les horizontales, d'abord régulièrement espacées, se seront éloignées; dans d'autres, elles se seront rapprochées. Les deux premiers systèmes d'isoplèthes seront bien encore des verticales et des horizontales, mais formant maintenant un quadrillage irrégulier au lieu du quadrillage régulier de tout à l'heure. On voit dès lors que les courbes constituant le troisième système d'isoplèthes, au lieu de rester semblables à elles-mêmes comme précédemment, auront cette fois changé de forme, et *l'on conçoit que, pour certains types de formules*, que nous laissons à l'Analyse mathématique le soin de déterminer, *ces dilatations irrégulières puissent être choisies de telle sorte qu'après déformation les courbes isoplèthes du premier Tableau soient toutes devenues des droites.*

Il est bien entendu, d'ailleurs, que l'Analyse mathématique permet non seulement de déterminer le caractère des formules auxquelles cet artifice est applicable, mais encore d'établir *à priori* le quadrillage irrégulier qui proviendrait de la déformation ci-dessus définie du quadrillage régulier, et grâce à l'emploi duquel toutes les isoplèthes du troisième système sont rectilignes.

L'abaque ordinaire de la multiplication, représenté par la *fig.* 27, est notamment susceptible de ce genre de transformation. Il suffit d'établir le quadrillage irrégulier de telle sorte que les graduations portées par les bords du cadre soient des échelles logarithmiques telles que celle qui a été définie à propos des règles à calcul ([1]). On obtient ainsi l'abaque que voici (*fig.* 30), le premier de ceux que M. Lalanne ait construits, d'après ce principe.

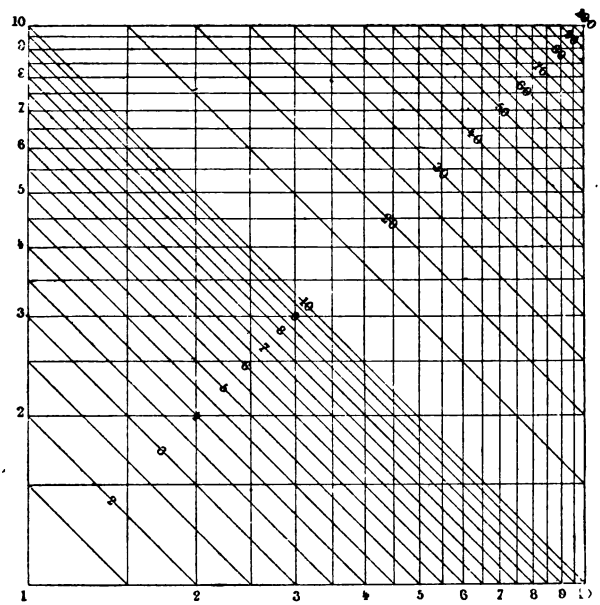
Il convient, d'ailleurs, d'ajouter que les formules pour lesquelles ce genre d'artifice est applicable sont extrêmement fréquentes dans la pratique. A cette catégorie appartiennent notamment les formules pour le calcul des profils de terrassements, traduites précisément en abaques par M. Lalanne au

---

([1]) *Voir* 2e Série, tome V, p. 327.

moyen de cette méthode, et qui ont grandement contribué à la vulgariser. D'autres applications, nombreuses et variées, en ont été données depuis lors soit par M. Lalanne lui-même,

Fig. 30.



soit par différents auteurs. Je dois me borner ici à en faire la mention.

L'anamorphose généralisée.

Le principe de M. Lalanne s'applique, je viens de le dire, à un très grand nombre de formules se rencontrant dans la pratique. Mais il est susceptible, ainsi que l'a fait remarquer M. Massau, d'une généralisation qui permet d'obtenir le même genre de simplification dans la construction d'abaques de formules ne répondant pas au caractère requis pour son application directe.

Pour bien comprendre en quoi consiste cette extension,

revenons à notre feuille extensible de tout à l'heure. Supposons donc qu'il nous soit impossible, par des dilatations telles que celles que nous avons précédemment envisagées, c'est-à-dire uniformes suivant les lignes parallèles aux bords du Tableau, mais variables de l'une à l'autre de ces lignes, de transformer en lignes droites les courbes constituant les isoplèthes du troisième système sur le Tableau primitif. Recourons alors à une déformation plus complète, en faisant non seulement varier de position les isoplèthes parallèles aux bords du cadre, *mais en les faisant encore varier de direction* et cela de quantités inégales de l'une à l'autre. Les droites qui formaient primitivement le quadrillage régulier, en s'inclinant diversement, ne vont même plus, comme dans le cas précédent, former un quadrillage irrégulier. Elles vont découper le plan en quadrilatères quelconques. La déformation du troisième système d'isoplèthes est alors, on le voit, beaucoup plus profonde, et tel type d'abaque, sur lequel l'anamorphose de M. Lalanne était impuissante à transformer ces isoplèthes en lignes droites, pourra bénéficier de cette simplification, grâce à l'anamorphose généralisée dont je viens de parler, et qui est celle de M. Massau.

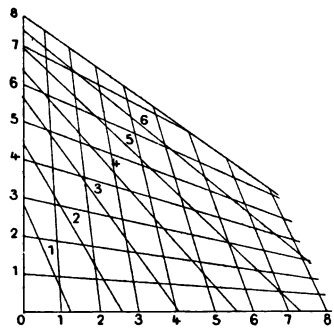
La *fig.* 31 montre, sous forme schématique, la disposition générale d'un abaque de cette sorte.

Ici encore, bien entendu, l'analyse permettra de déterminer *à priori* le caractère des formules auxquelles l'artifice est applicable et, lorsque ce caractère sera rempli, de construire directement l'abaque à isoplèthes rectilignes correspondant.

On voit que le principe de l'anamorphose, pris, si l'on veut, sous sa forme la plus générale, en substituant à l'abaque donné par la méthode ordinaire, sur lequel certaines courbes devraient être tracées, un abaque sur lequel il n'y aura que des droites, permettra dans un grand nombre de cas de réaliser, dans la construction de cet abaque, une sérieuse économie de temps. Il suffira, en effet, de deux points pour déterminer chacune des droites de l'abaque, parfois même d'un seul, lorsque, comme cela a lieu souvent, toutes les isoplèthes de chacun des trois systèmes sont respectivement parallèles à une même direction.

En dehors de la droite, il est une autre ligne qui est, dans la pratique, d'un usage aussi commode : c'est le cercle. Je me contenterai d'indiquer que certaines formules auxquelles le principe de l'anamorphose ci-dessus indiqué n'est pas applicable peuvent être, par une autre déformation de l'abaque établi d'après la méthode ordinaire, représentées au moyen d'un

Fig. 31.



abaque sur lequel ne figurent que des droites et des cercles. J'en donne dans mon livre sur la Nomographie (§ 16 et *Pl. IV*) un exemple que je crois assez frappant.

Desiderata à réaliser dans l'établissement des abaques.

Les divers artifices que je viens d'indiquer tendent à *simplifier la construction des abaques, non à modifier leur emploi.* Que l'abaque ne porte que des droites ou qu'il porte à la fois des droites et d'autres courbes, la manière de s'en servir est toujours la même : on a sur un Tableau trois systèmes de lignes isoplèthes; dans l'un de ces systèmes, on prend la ligne ayant pour cote la valeur de la donnée correspondante, dans un autre, la ligne ayant pour cote la seconde donnée, et on lit la cote de la ligne du troisième système passant par le point de rencontre des deux premières; cette cote est précisément la valeur de l'inconnue cherchée.

Or, l'entrecroisement de ces trois systèmes de lignes iso-

plèthes offre parfois à l'œil quelque confusion et fatigue un peu la vue. Il faut suivre avec soin chacune des trois lignes convergentes dont il vient d'être question, pour aller lire sa cote, et lorsque les isoplèthes d'un même système sont très rapprochées ou se coupent d'un système à l'autre sous des angles assez petits, on peut être exposé à des erreurs. Enfin l'interpolation à l'estime exige une attention assez méticuleuse.

Ainsi que je vous l'ai expliqué tout à l'heure, on doit, en effet, pour effectuer cette interpolation, intercaler par la pensée, entre les isoplèthes réellement tracées sur l'abaque, les courbes correspondant aux valeurs intermédiaires des données et du résultat auxquelles on a affaire. Or, il faut pour cela une attention d'autant plus soutenue que les cotes des courbes limitant l'espace à l'intérieur duquel se ferait la rencontre des courbes que l'on imagine entre celles-ci, peuvent se trouver assez éloignées de cet espace.

L'interpolation à l'estime ainsi pratiquée comporte, vous devez aisément vous en rendre compte, une plus grande difficulté que celle qui consiste simplement à apprécier sur une échelle graduée — droite ou courbe, d'ailleurs — la cote d'un point pris entre deux traits de division cotés.

Sans s'exagérer la portée des inconvénients que je viens de vous signaler et qu'on arrive à surmonter sans trop de peine, avec un peu d'habitude, on conçoit cependant qu'il y ait intérêt à s'en affranchir chaque fois que faire se peut.

Il sera très désirable, en particulier, lorsque la chose sera possible, de réduire l'interpolation à une estimation faite sur une simple échelle graduée, ainsi que je viens de le dire.

Voici, d'autre part, une considération plus grave : tous les abaques que nous avons envisagés jusqu'ici sont relatifs à des formules à deux variables indépendantes, c'est-à-dire équivalents à des Tables à double entrée. Seraient-ils, sans modification, susceptibles de se prêter à un plus grand nombre d'entrées ? Nous allons voir que non.

Prenons, en effet, une formule donnant une certaine quantité en fonction de trois autres prises pour variables indépendantes x, y, z. Si nous donnons à l'une de celles-ci, z, par exemple, une certaine valeur fixe, nous sommes réduits à une

formule à deux entrées, x et y, dont nous pouvons construire l'abaque ainsi qu'il a été dit précédemment. Pour chaque valeur attribuée à z nous aurons un abaque analogue. La superposition de ces divers abaques produirait un tel enchevêtrement qu'elle serait matériellement irréalisable. On devrait donc se résigner à former un atlas de tous ces abaques répondant aux valeurs successives de z, et l'on retomberait ainsi sur l'inconvénient déjà signalé pour les Tables à double entrée.

On pourra, il est vrai, tourner la difficulté dans certains cas. Si, par exemple, d'un abaque à l'autre de la série, il n'y a de différence que dans la position de l'un des systèmes d'isoplèthes, on pourra dessiner celui-ci sur un transparent qu'on appliquera sur le plan où seront figurés les deux autres en même temps que certains indices propres à permettre de placer, dans chaque cas, le transparent dans la position correspondant à la valeur choisie pour la troisième variable indépendante. M. Massau, notamment, a rencontré des exemples d'application de ce principe, mais l'usage qu'on en peut faire est assez limité.

Sans donc méconnaître la valeur des méthodes précédentes, on peut se rendre compte, par ce qui vient d'être dit, de l'intérêt qu'il y a à posséder d'autres méthodes affranchies des petits inconvénients de détail qui viennent d'être signalés pour les abaques à trois systèmes d'isoplèthes réellement tracées, et susceptibles en outre de généralisation sur une vaste échelle pour des formules à plus de deux entrées. C'est à ces divers *desiderata* que répondent la méthode de M. Lallemand ainsi que, à un plus haut degré de généralité, celle que j'ai imaginée pour ma part. Je vais, en m'efforçant d'être aussi bref que possible, en esquisser maintenant les traits généraux sans entrer dans aucun détail d'ordre purement mathématique.

Les abaques hexagonaux.

Le point de départ de la méthode de M. Lallemand, dite des *abaques hexagonaux*, — on en verra plus loin la raison, — est le suivant :

Considérons une équation représentable par trois systèmes d'isoplèthes rectilignes, parallèles entre elles dans chaque système, et supposons les cotes de chacun de ces systèmes de droites, inscrites sur une échelle perpendiculaire à leur direction. L'ensemble de ces trois échelles suffit à déterminer complètement l'abaque, puisque l'isoplèthe correspondant à un point quelconque d'une de ces échelles est la perpendiculaire élevée à cette échelle par ce point.

Posons alors sur notre abaque un transparent et traçons à la surface de celui-ci trois axes issus d'un même point et respectivement perpendiculaires aux trois échelles. Cela fait, si nous donnons à ce transparent des déplacements quelconques, pourvu que nous lui conservions la *même orientation*, nous voyons que ses trois axes coïncideront toujours avec trois isoplèthes correspondantes prises respectivement dans chacun des systèmes et ayant pour cotes celles qui sont inscrites sur les échelles aux points où celles-ci sont rencontrées par les axes en question.

Il est, par suite, inutile de conserver les isoplèthes tracées sur l'abaque; effaçons-les, et ne conservons que les échelles graduées correspondantes (*fig.* 32). Nous voyons que le mode d'emploi de l'abaque sera alors le suivant: le transparent étant orienté de façon que ses trois axes soient perpendiculaires aux trois échelles de l'abaque, déplaçons-le de façon que les deux axes perpendiculaires aux échelles des données passent par les points de ces échelles ayant pour cotes les valeurs de ces données; le troisième axe coupe alors la troisième échelle en un point dont la cote fait connaître la valeur de l'inconnue. Par exemple, sur la *fig.* 32, pour

$$A = 10 \qquad \text{et} \qquad B = 10,$$

on a

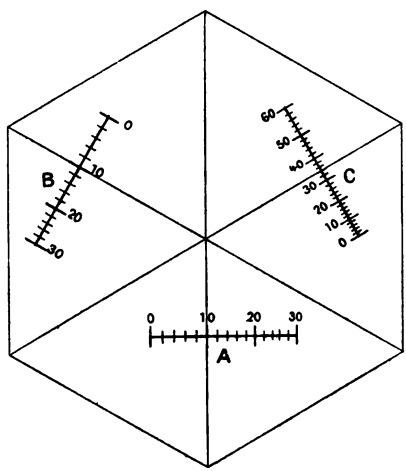
$$C = 34.$$

Vous voyez que les inconvénients signalés tout à l'heure ont disparu : plus d'enchevêtrement d'isoplèthes, puisque celles-ci ont été effacées et qu'il ne reste que trois simples échelles; plus de crainte d'erreur dans la lecture des cotes, puisque celles-ci

sont données par les axes mêmes du transparent sur les échelles correspondantes; enfin, bien plus grande facilité d'interpolation à l'estime, celle-ci se faisant sur l'échelle même pour chacune des variables sans qu'il y ait besoin, comme précédemment, de se figurer par la pensée des isoplèthes non tracées, intercalées entre celles figurant sur l'abaque.

Mais ce ne sont pas là les seuls avantages de cet artifice. On

Fig. 32.

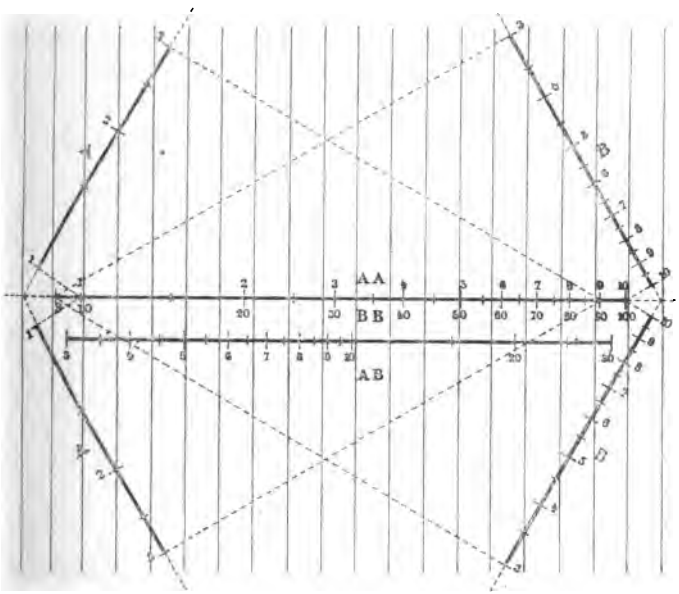


voit, en effet, que chaque échelle peut, sans inconvénient, être déplacée suivant la direction de l'axe correspondant du transparent. On peut également couper les échelles en trois points se correspondant sous les axes de l'indicateur et reporter les fragments limités à ces trois points dans une autre position en conservant seulement leurs directions primitives et faisant en sorte que leurs origines se trouvent toujours simultanément sous les axes de l'indicateur. Cette faculté de fractionner et de déplacer les échelles est précieuse pour permettre de réduire les dimensions d'un abaque donné.

Quant à l'orientation fixe de l'indicateur, elle s'obtient au moyen de traits marqués sur l'abaque et donnant la direction que doit avoir l'un des axes de l'indicateur.

Voici, à titre d'exemple, dans ce système, l'abaque de la multiplication (*fig.* 33), réduit en dimension par fractionnement. Si les deux facteurs sont pris sur l'une et l'autre échelles inclinées A, le produit se lit sur l'échelle horizontale AA; s'ils sont pris sur l'une et l'autre échelles B, le produit se lit sur

Fig. 33.

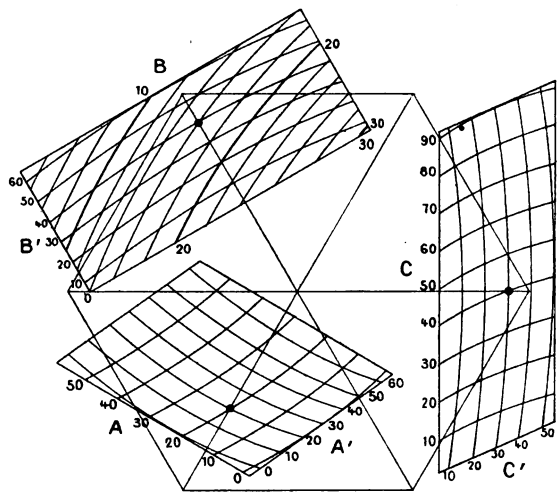


l'échelle BB; si l'un est pris sur une échelle A, l'autre sur une échelle B, le produit se lit sur l'échelle AB.

Si l'indicateur offre une certaine consistance, par exemple, s'il est fait en celluloïd, et s'il présente des bords parallèles aux axes qui y sont tracés, on n'a, après avoir mis un de ses axes en coïncidence avec un des traits de direction dont il vient d'être parlé, qu'à lui imprimer des déplacements guidés par une règle le long de laquelle on le fait glisser, ainsi qu'une équerre ordinaire, pour l'amener dans la position voulue. On peut aussi, si les traits de direction sont suffisamment rapprochés, assurer à simple vue l'orientation de l'indicateur.

En pratique, les trois échelles sont disposées de manière à faire entre elles des angles de 60°. La raison de cette disposition, d'ordre purement mathématique, a pour but de faciliter la graduation des échelles; je n'y insisterai pas ici. Je ferai seulement remarquer que, dans ce cas, le transparent affecte la forme d'un hexagone régulier et que les axes sont les dia-

Fig. 34.



gonales de celui-ci. De là le nom d'*abaques hexagonaux*, adopté par M. Lallemand.

Il me reste à faire voir comment la méthode des abaques hexagonaux se prête à la représentation graphique de certaines formules à plus de deux entrées.

Supposons que nous accolions à chacune des échelles d'un abaque hexagonal un cadre renfermant deux systèmes d'isoplèthes cotées (*fig.* 34). Nous donnerons à un tel cadre le nom d'*échelle binaire*. La position de chaque axe du transparent, qui était tout à l'heure liée à une seule cote, celle du point où cet axe coupait l'échelle correspondante, va maintenant l'être à deux cotes. Il faudra, en effet, pour déterminer un point de cet axe à l'intérieur de l'échelle binaire correspondante, connaître les cotes des deux isoplèthes, une de chaque

système, qui se croisent en ce point. On établira donc dans ce cas, par le fait de l'application du transparent sur l'abaque, une liaison non plus entre trois, mais entre six variables; on aura, en d'autres termes, la représentation d'une formule à cinq entrées. Deux des données détermineront un point dans une des échelles binaires, deux autres un autre point dans une seconde échelle; on fera respectivement passer deux des axes de l'indicateur par ces points; le troisième axe ira couper, dans la troisième échelle binaire, l'isoplèthe correspondant à la cinquième donnée, en un certain point. La cote de l'isoplèthe du second système passant en ce point fera connaître la valeur de l'inconnue. Par exemple, sur la *fig.* 34, pour

$$A = 20, \qquad A' = 20, \qquad B = 16, \qquad B' = 40, \qquad C = 40,$$

on a

$$C' = 30.$$

Nous avons supposé que nous remplacions les trois échelles linéaires de l'abaque hexagonal primitif par trois échelles binaires, mais cette substitution aurait aussi bien pu n'être faite que pour deux ou même que pour une échelle. Nous aurions eu ainsi la représentation de formules à quatre ou à trois entrées.

Mais la généralisation peut être encore poussée plus loin. On conçoit, en effet, que la troisième échelle binaire sur laquelle nous avons précédemment lu le résultat soit prise à son tour comme première échelle d'un second abaque hexagonal qui pourra être dessiné sur la même feuille que le premier et dans lequel nous n'aurons à passer que par un nouveau déplacement de l'indicateur. En répétant plusieurs fois cette opération, on pourra multiplier *ad libitum* les entrées de la formule à représenter.

Cette indication, pour un peu vague qu'elle soit, suffira, je pense, à vous faire pressentir tout le parti qu'on peut tirer de la méthode de M. Lallemand, dont on ne saurait d'ailleurs, de même que pour les précédentes, acquérir la pleine compréhension que lorsqu'elle est présentée sous une forme purement mathématique.

Cette méthode suppose, ainsi que l'avons vu, la répartition des diverses variables figurant dans la formule, en groupes de deux. Une telle séparation n'est pas toujours possible, mais elle est extrêmement fréquente dans les cas de la pratique. Aussi la méthode des abaques hexagonaux est-elle féconde en applications. M. Lallemand, qui dirige le service du Nivellement général de la France, a eu notamment occasion de l'utiliser dans une très large mesure pour les besoins de ce service, où elle a permis de réduire à une besogne insignifiante l'exécution des nombreux calculs qui doivent s'y effectuer journellement et qui absorbaient auparavant tout le temps de certains employés. Il a d'ailleurs été admirablement secondé, dans ces applications, par le chef de bureau du service, M. Prévot, qui a acquis une remarquable habileté dans la construction des abaques.

Les abaques à points isoplèthes.

L'artifice de l'indicateur transparent hexagonal ne saurait être utilisé lorsqu'il ne s'agit plus d'un abaque à trois systèmes d'isoplèthes rectilignes *parallèles*.

La méthode de M. Lallemand, susceptible de la vaste généralisation que je viens de signaler, en ce qui concerne la multiplicité des entrées introduites, ne se prête donc pas à une extension au cas des droites isoplèthes *quelconques*. Il est pourtant plus désirable encore, dans ce cas, de réaliser les avantages assurés par les abaques hexagonaux pour le cas des droites isoplèthes parallèles.

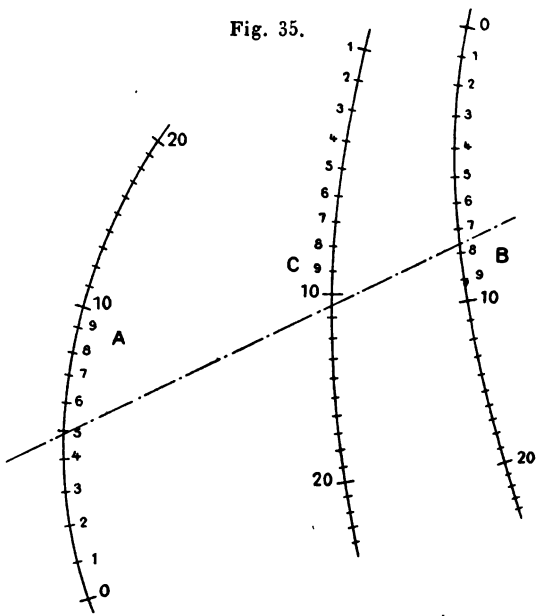
Ce *desideratum* se trouve comblé par la *méthode des points isoplèthes*, que j'ai fait connaître en 1884 et que je vais essayer d'esquisser en quelques mots.

La Géométrie nous apprend qu'on peut, de diverses manières, étant donnée une certaine figure, en construire une autre telle qu'à toute droite de la première corresponde un point dans la seconde, telle en outre que si plusieurs droites de la première se coupent en un même point, les points correspondant à ces droites dans la seconde soient distribués sur une même droite.

Deux figures se correspondant suivant un tel mode sont dites *corrélatives*.

Prenons dès lors un abaque à trois systèmes d'isoplèthes rectilignes et considérons sa figure corrélative en affectant les points obtenus des mêmes cotes que les droites correspondantes. A chaque système d'isoplèthes rectilignes va corres-

Fig. 35.



pondre une suite de points distribués sur une certaine ligne. Au lieu donc de ces trois systèmes de droites s'enchevêtrant les uns dans les autres, nous n'aurons que trois échelles, droites ou courbes, parfaitement distinctes les unes des autres (*fig.* 35).

Sur le premier abaque, les isoplèthes répondant aux données et celle répondant à l'inconnue concouraient en un même point. Les points correspondants sur le second abaque seront donc, par définition même, en ligne droite, et l'on voit à quoi se réduira le mode d'emploi de l'abaque : joindre par une droite les points ayant pour cotes les valeurs des données sur

les échelles correspondantes et lire la cote du point où cette droite vient couper la troisième échelle. Ainsi, sur la *fig.* 35, pour

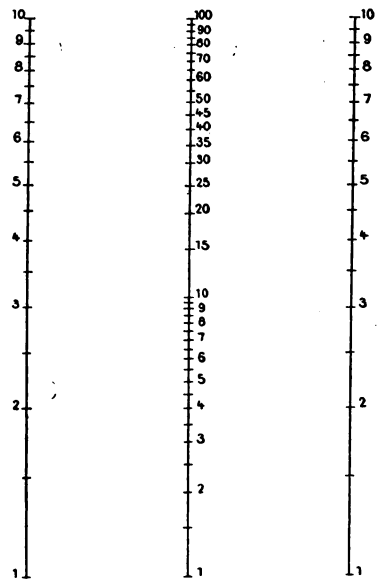
$$A = 4,8, \qquad B = 7,7,$$

on a

$$C = 10,5,$$

Voici, par exemple, l'abaque de la multiplication (*fig.* 36),

Fig. 36.



construit dans ce système de représentation. Il se compose simplement de trois échelles logarithmiques parallèles, celle du milieu ayant des divisions égales à la moitié des divisions correspondantes des deux autres.

Le mode d'emploi de ces abaques est des plus simples, puisqu'il se borne à la constatation de l'alignement de trois points sur une ligne droite. Afin de n'avoir pas à tracer cette droite, on pourra soit tendre sur l'abaque un fil suffisamment fin, soit y appliquer un transparent sur lequel on aura marqué un trait rectiligne.

Je tiens à prévenir ici dans vos esprits une fausse appréciation qui s'offre au premier abord avec une certaine apparence de logique. On est, en effet, tenté de considérer que le fait d'avoir à placer une droite sur l'abaque, pour faire la lecture, constitue à l'actif de la méthode des points isoplèthes une petite complication par rapport à la méthode des droites isoplèthes. C'est le contraire qui est la vérité. Pour faire la lecture sur un abaque ordinaire, vous devez en réalité suivre du doigt chacune des isoplèthes (effectivement tracées ou intercalées par la pensée) correspondant aux données depuis la cote de chacune d'elles jusqu'en leur point de rencontre, et, de même, l'isoplèthe correspondant au résultat qui converge avec elles, depuis ce point de rencontre jusqu'en celui où est inscrite sa cote. Cette petite opération est plus minutieuse et plus longue, surtout plus sujette à erreur, que celle qui consiste à tendre une droite entre deux points cotés et à lire la cote du point où cette droite vient couper une courbe graduée.

A cette netteté de la lecture, il faut ajouter la facilité de l'interpolation exécutée ici entre les points de division d'une échelle graduée au lieu de l'être entre les courbes d'un réseau gradué.

Lorsque, pour une valeur fixe attribuée à une des données, on désire connaître les valeurs de l'inconnue répondant à une série de valeurs de la seconde donnée, ce qui est un cas fréquent dans la pratique, il suffit, pour avoir immédiatement tous ces résultats, de faire simplement pivoter la droite indicatrice autour du point correspondant à la donnée fixe.

Il me reste à vous indiquer brièvement comment j'ai pu effectivement réaliser l'idée de principe que je viens de vous exposer.

Il était nécessaire, pour cela, d'adopter un genre de corrélation aussi simple que possible. Ce genre de corrélation m'a été fourni tout naturellement par la considération de certaines coordonnées dites *parallèles*, à l'étude desquelles je m'étais spécialement attaché [1].

---

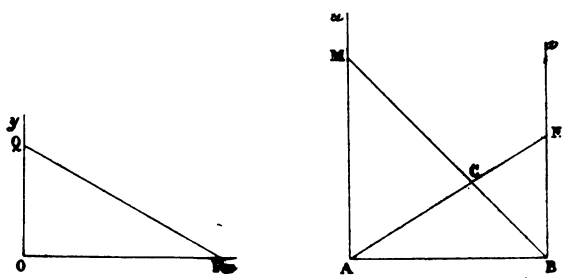
[1] *Coordonnées parallèles et axiales* (Paris, Gauthier-Villars; 1885). Les coordonnées parallèles ont fait également l'objet de recherches de la

Il peut se définir dans un langage géométrique tellement simple que je crois pouvoir l'indiquer ici (*fig.* 37).

On choisit sur le premier abaque deux axes rectangulaires quelconques Ox et Oy, et sur le second deux axes parallèles Au et Bv. Si une droite du premier abaquecoupe Ox en P et Oy en Q, on porte, en tenant compte du signe, sur Au le segment AM égal à OP et sur Bv le segment BN égal à OQ. Le point de rencontre C des droites BM et AN est, sur le second abaque, le corrélatif de la droite PQ.

On peut, par ce moyen, *traduire* en quelque sorte un abaque

Fig. 37.



donné en droites isoplèthes pour avoir l'abaque correspondant en points isoplèthes. J'ai eu occasion de faire effectuer cette opération un certain nombre de fois pour des abaques déjà construits, et j'ai pu me rendre compte chaque fois de la supériorité, *au point de vue pratique,* du second abaque sur le premier. Mais il n'est nullement nécessaire, lorsqu'on a reconnu qu'une formule peut donner lieu à un abaque à droites isoplèthes, de construire d'abord celui-ci pour le transformer ensuite en abaque à points isoplèthes. Ce dernier peut être obtenu directement par un procédé fort simple que j'ai donné dans mon livre, mais que je me contente de mentionner ici, attendu qu'il appartient à la catégorie des considérations

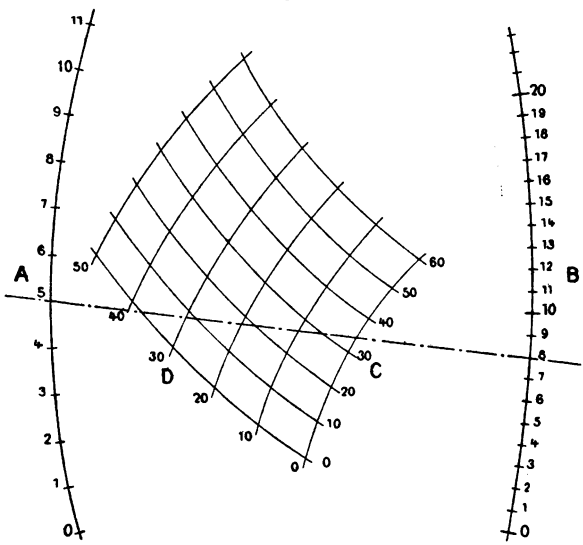
---

part du Dr Karl Schwering, dont les premiers essais dans cette voie ont précédé mes recherches. Toutefois, l'idée même de ces coordonnées appartient à Chasles (*Correspondance de Quételet,* t. VI, p. 81).

d'ordre purement mathématique que je me suis efforcé de bannir de cette Conférence.

J'arrive à l'extension de la méthode des points isoplèthes au cas de plus de deux entrées. Elle est analogue à celle déjà indiquée pour les abaques hexagonaux. Remplaçons, en effet, sur un abaque en points isoplèthes, une des courbes graduées par un réseau formé de deux systèmes de courbes cotées. Chaque

Fig. 38.



point pris dans ce réseau dépend de deux quantités (les cotes des deux courbes isoplèthes qui s'y rencontrent); il sera dit, pour cette raison, *doublement isoplèthe.*

En substituant, sur l'abaque, un système de points doublement isoplèthes à un système de points simplement isoplèthes, on y introduit une entrée de plus. De là, le moyen d'avoir des abaques à trois, quatre et cinq entrées.

La *fig.* 38 montre, sous forme schématique, la disposition d'un abaque constitué par deux systèmes de points simplement isoplèthes et un système de points doublement isoplèthes, c'est-à-dire d'un abaque à trois entrées.

Pour s'en servir, il suffit de joindre par une droite les points correspondant aux deux premières données sur les échelles, de prendre le point de rencontre de cette droite avec l'isoplèthe du premier système, correspondant à la valeur de la troisième donnée et de lire la cote de l'isoplèthe du second système passant par ce point. Cette cote fait connaître la valeur de l'inconnue. Par exemple, sur la *fig.* 38, pour

$$A = 5, \qquad B = 8, \qquad D = 10,$$

on a

$$C = 26.$$

Est-il besoin de répéter ici encore que, grâce au secours de l'Analyse mathématique, on peut aisément faire la détermination directe des diverses courbes qui figurent sur ces abaques?

La méthode des points simplement et doublement isoplèthes trouve dans la pratique un vaste champ d'utilisation.

J'ai eu, pour ma part, à en faire de nombreuses applications tant pour les besoins du service du Nivellement général de la France, dans la direction duquel je seconde M. Lallemand, que pour ceux de diverses autres spécialités. Je me plais, à cette occasion, à reconnaître la précieuse collaboration que m'a prêtée, pour ces applications, notre chef de bureau, M. Prévot, que je vous ai déjà cité tout à l'heure à propos de la mise en pratique de la méthode des abaques hexagonaux ([1]).

([1]) Parmi les applications qui ont été faites de la méthode des points isoplèthes depuis que j'en ai fait connaître le principe, je crois devoir donner une mention particulière à l'abaque de la vitesse des trains, publié par M. Beghin dans la livraison d'octobre 1892 des *Annales des Ponts et Chaussées*. C'est un curieux exemple de la traduction sous forme d'abaque, faite au moyen de données d'expérience, d'une formule dans laquelle intervient une fonction dont on ne connaît pas exactement la nature analytique.

Je tiens également à signaler l'ingénieuse application mécanique du principe des points isoplèthes que M. Rateau a fait connaître au Congrès de l'Association française tenu à Pau en 1892. Grâce à l'emploi de cloches flottantes dont le profil est déterminé en conséquence, M. Rateau fait marquer les valeurs des données sur les échelles rectilignes correspondantes par les extrémités de tiges rigides entre lesquelles un fil fin est tendu par

Je mets ici sous vos yeux (*Pl. IV*) le premier abaque à points doublement isoplèthes que j'aie construit. C'est précisément celui de l'équation

$$z^3 + nz^2 + pz + q = 0,$$

auquel j'ai fait allusion tout à l'heure.

Sur cet abaque, aux variables p et q correspondent respectivement deux échelles rectilignes parallèles, à la variable n un système de courbes cotées, à la variable z un système de droites cotées parallèles aux deux premières échelles. Dès lors, pour des valeurs données de n, p et q, il suffit, pour résoudre l'équation, de tendre une droite entre les points cotés p et q dans les échelles correspondantes et de lire les cotes des parallèles à ces échelles passant par les points où cette droite coupe la courbe cotée n (1).

Je bornerai là les explications qu'il m'a paru nécessaire de vous donner au sujet des abaques. Mon but n'a pas été — je

---

de petits poids. La rencontre de ce fil et de l'échelle des résultats donne le point dont il suffit de lire la cote. C'est ainsi le phénomène physique, dont les données doivent être soumises à un certain calcul, qui effectue, en quelque sorte, lui-même ce calcul.

Il va sans dire que des applications du principe des points isoplèthes ont pu être faites, indépendamment de l'énoncé général que j'en ai donné, par des auteurs n'en ayant pas eu connaissance. Il est bien évident, par exemple, que l'abaque de la multiplication représenté par la *fig.* 36 peut, et a même sans doute dû être inventé, en dehors de l'intervention du principe général. C'est ainsi — je tiens à le consigner ici, bien que le fait ne soit venu à ma connaissance que longtemps après que cette Conférence a eu lieu — que M. Mehmke, professeur à l'Ecole technique supérieure de Darmstadt, a construit une série d'intéressants abaques qui rentrent dans le domaine des applications de la méthode des points isoplèthes.

M. Mehmke a, en outre, grâce à un ingénieux dispositif, fait une curieuse application de la méthode des points isoplèthes *dans l'espace.*

Enfin, j'indiquerai comme exemple d'application des points doublement isoplèthes, à joindre à ceux que contient déjà le Chap. VI de ma *Nomographie*, l'abaque général de la Trigonométrie sphérique que j'ai publié dans le numéro de janvier 1894 du *Bulletin astronomique*, et qui permet de résoudre à vue les triangles sphériques dans tous les cas possibles.

(1) A la vérité, l'abaque tel qu'il est construit ne donne que les racines *positives* de l'équation, mais les racines *négatives* sont données en valeur absolue par les racines positives de l'équation obtenue en changeant dans la proposée z en $-z$, ce qui revient, tout en conservant la même valeur pour p, à changer n en $-n$ et q en $-q$.

tiens à le répéter en terminant — de vous mettre en mesure de faire vous-mêmes, sans nouvelle étude, des applications de la Nomographie. Celles-ci ne sauraient être entreprises avec fruit sans le secours de l'Analyse mathématique. Au moins, ai-je l'espoir d'avoir suffisamment mis en relief à vos yeux le but que les abaques permettent d'atteindre, ainsi que les services qu'ils sont à même de rendre dans la pratique.

Peut-être aussi ce coup d'œil d'ensemble que je vous ai fait jeter sur la théorie facilitera-t-il son étude à ceux d'entre vous qui auraient la curiosité de l'approfondir davantage.

Il s'en faut, d'ailleurs, de beaucoup que le cadre auquel j'ai restreint mon exposé marque la limite de ce domaine des Mathématiques appliquées. Je compte, au contraire, faire voir un jour que celui-ci s'étend beaucoup plus loin qu'on ne serait tenté de le croire au premier abord, mais ce sont là des considérations théoriques qui ne sauraient trouver leur place dans une simple Conférence telle que celle que j'ai eu l'honneur de faire devant vous [1].

Résumé et conclusions.

Arrivé au terme de cette revue des procédés si divers et si nombreux, dérivés en partie de la Mécanique et de la Géométrie, qui ont été proposés pour suppléer au calcul numérique, on est tenté de se demander si une telle richesse répond bien réellement à une nécessité pratique, si, au contraire, il n'y a pas pléthore, et s'il y avait lieu de tant multiplier les solutions pour un problème en apparence toujours le même.

Je dis « en apparence ». C'est qu'en effet, les conditions spéciales dans lesquelles se présente ce problème, suivant que l'on se trouve dans tel ou tel cas de la pratique, en modifient profondément l'essence.

S'agit-il, ce qui est le cas dans les établissements finan-

---

[1] J'ai indiqué le principe d'une vaste extension des méthodes nomographiques passées en revue dans cette Conférence, dans une communication faite à l'Académie des Sciences, au cours des séances des 24 et 31 juillet 1893.

ciers, d'effectuer souvent des opérations simples, comme la multiplication et la division, portant sur des nombres composés de beaucoup de chiffres? L'emploi des machines arithmétiques est alors tout indiqué.

Des opérations de même genre ont-elles à être effectuées seulement d'une manière approchée, sur des nombres ne comprenant que quelques chiffres, ce qui est le cas pour un ingénieur ou un architecte faisant un métré ou établissant un devis? Les instruments logarithmiques, insuffisants dans le cas précédent, prennent alors, et de beaucoup, l'avantage, tant à cause de leur prix relativement modique que de leur plus grande facilité de maniement.

Lorsqu'un ingénieur, la règle et l'équerre en main, combine les dispositions d'un ouvrage et qu'il cherche à en déterminer les conditions de stabilité et de résistance, il est tout naturellement porté à employer, pour effectuer le calcul des efforts intervenant dans la question, une méthode comportant simplement l'exécution de certains traits sur l'épure même qu'il exécute. En pareil cas donc, le tracé graphique sera généralement préféré à tout autre mode de calcul.

A-t-on besoin de chercher fréquemment pour des valeurs des données variant entre de certaines limites, le résultat d'une formule dont le calcul comporte un nombre plus ou moins grand d'opérations arithmétiques plus ou moins compliquées? On est tout naturellement conduit dans ce cas à dresser une fois pour toutes le Tableau des résultats de cette formule entre ces limites, Tableau auquel on donnera la forme d'un barème ou d'un abaque suivant qu'il sera nécessaire ou non d'avoir un grand nombre de chiffres au résultat.

Le barème semble, dans ces conditions, plutôt indiqué lorsqu'il s'agit du calcul des opérations financières, mais, sauf ce cas, pour les multiples raisons que je vous ai dites [1] et sur lesquelles je ne pense pas avoir encore à revenir, l'abaque devra être préféré.

Je ne voudrais pas, en produisant cette allégation, encourir

---

[1] *Voir* p. 54.

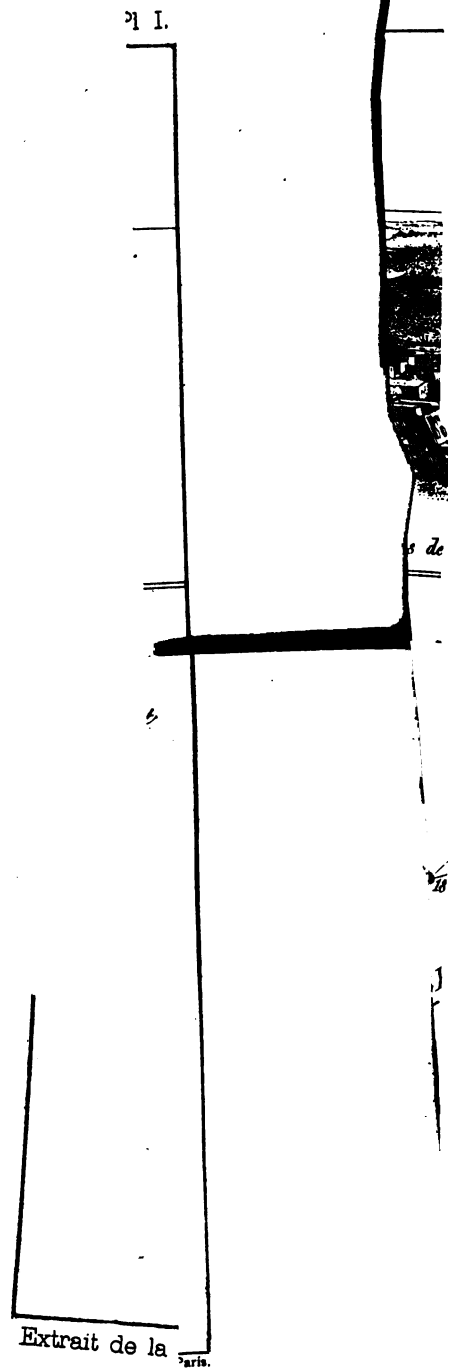
de votre part la réplique malicieuse de Sganarelle à M. Josse. Je ne la formule qu'après avoir été convaincu de sa vérité par une expérience qui remonte déjà à un certain nombre d'années et que vient confirmer la tendance très manifeste qui se dessine chez les hommes techniques de toute spécialité à recourir de plus en plus aux Tableaux graphiques de calculs tout faits. C'est au surplus ici un domaine où se doit exercer le plus parfait éclectisme, chacun étant, le cas échéant, libre d'apprécier le procédé le plus propre à épargner sa peine.

Dans l'arsenal d'outils que j'ai fait passer sous vos yeux, un bon ouvrier n'est pas embarrassé de choisir celui qui s'applique le mieux à sa besogne.

Horizont.
16 20 15 13 21

Brise 25°30 N
S
10

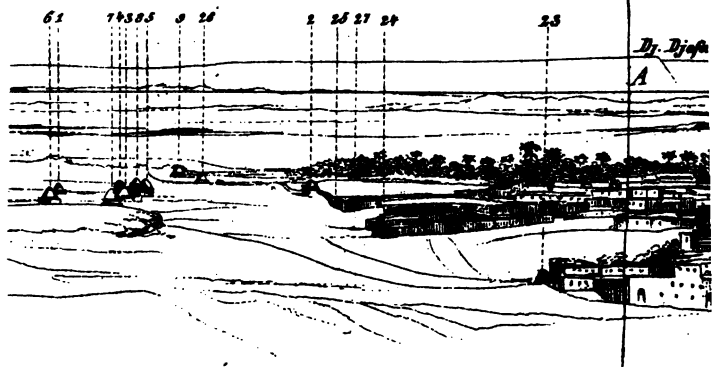
de v
Je n
par
d'an
se d
rec o
tou t
le p l
d'a p
D a
bon
plig u



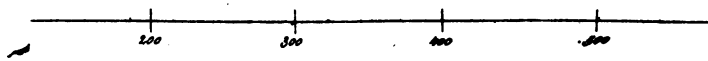
20
21
s der Expedition.
B
17
otographischer Standpunkt
18
Basis 793 m
III
II

80

de v
Je n
par
d'an
se d
reco
tout
le pl
d'ap
Da
bon
pliqu



Ansicht der Stadt



Oasenstadt Gassr-Dachel
in der Libyschen Wüste
grammetrisch aufgenommen
fs'schen Expedition im Winter 1873/74
otographie von Ph. Remelé.
ion und Construction von W. Jordan.
Carlsruhe 1876

tadt

1

3/74

LEVER PHOTOGRAPHIQUE
arrières de Colonnata
(ALPES APUANES)
1878
helle de $\left(\frac{1}{20.000}\right)$

— Les courbes de niveau direc-
quidistantes de 25 mètres en 25
intermédiaires de 5 mètres en

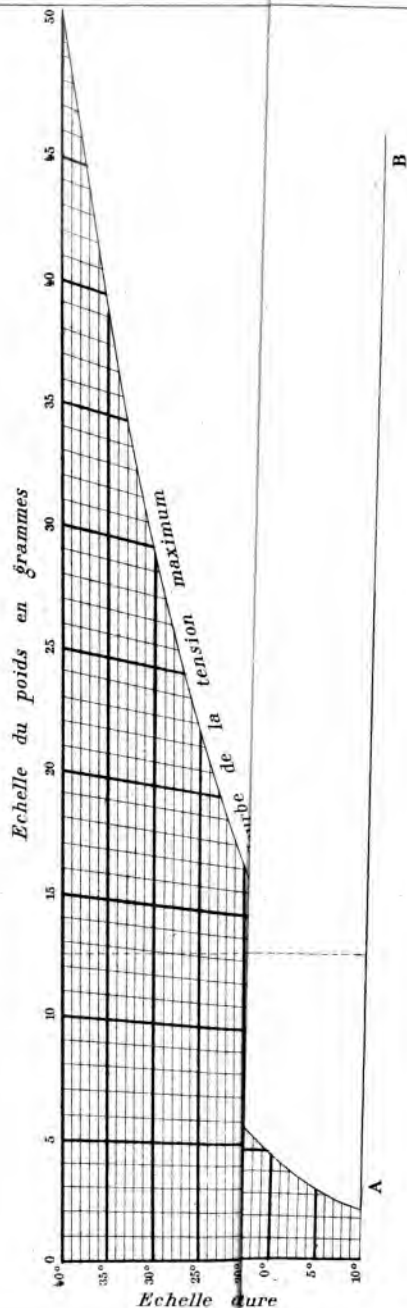
e signe ● indique la positio
ramiques.

PAGANINI PIO.

ait des Publications de

llem

Abaque du poids de la vapeur d'eau contenue dans l'air



Ch. Perrin Sc.t

Gauthier-Villars et ts.

LES

APPLICATIONS DE LA PERSPECTIVE

AU LEVER DES PLANS.

VUES DESSINÉES A LA CHAMBRE CLAIRE. — PHOTOGRAPHIES.

CINQUIÈME ARTICLE [1].

Par le Colonel A. LAUSSEDAT.

RÉSULTATS.

II. — Résultats obtenus à l'étranger depuis 1865.

3. — *La Métrophotographie en Autriche-Hongrie et en Suisse.*

L'application de la Photographie au lever des plans, sous les noms de Photogrammétrie, de *Lichtbildmesskunst* ou de Phototopographie, a pénétré assez tard en Autriche-Hongrie. Les publications allemandes de Hauck, de Stolze et autres, le bruit fait autour du nom de Meydenbauer dans son pays et autour de ceux de Porro et de Paganini Pio, en Italie, n'ont commencé à appeler sérieusement l'attention des ingénieurs autri-

[1] *Voir* 2e Série, t. II, p. 294 à 324, t. III, p. 313 à 356, t. V, p. 283 à 322, et t. VI, p. 1 à 41.

chiens que vers 1887. C'est à cette époque, du moins, que de premiers essais de la méthode furent faits d'abord par Hafferl qui entreprit une reconnaissance sur une ligne de 5^{km} de longueur, dans la vallée de la Drave, en Carinthie, en partant d'une base mesurée et en employant vingt-quatre vues photographiques prises en quatre heures et demie. Toutefois, les résultats ayant été jugés insuffisants, le lever fut achevé par les procédés ordinaires.

A l'occasion de la captation des sources pour la canalisation de la Mulhauer à Innspruck, un autre ingénieur, Maurer, fit avec plus de succès le lever photographique d'un district rocheux en partie couvert de glace, travail qui, par tout autre procédé, eût été à peu près impraticable.

Vers la même époque, le professeur Schiffner avait également fait des essais assez heureux dans le voisinage de Pola.

Mais c'est à l'ingénieur en chef des chemins de fer de l'État autrichien, M. Vincenz Pollack, que revient le mérite d'avoir exécuté les opérations les plus importantes et les plus décisives.

Citons encore le professeur Steiner, de Prague, qui, frappé des résultats déjà obtenus, exécuta des levers dans les environs de cette ville, en 1891, en présence de ses élèves, et est devenu l'un des propagateurs les plus zélés et les plus autorisés de la Photogrammétrie.

Les détails que nous donnons ici sont généralement empruntés aux Notices de M. Vincenz Pollack; mais celui-ci reporte l'honneur de ses propres travaux à la Direction générale des chemins de fer de l'État autrichien, qui a mis à sa disposition les ressources nécessaires et l'a aidé à lutter contre des préjugés si difficiles à déraciner partout (1).

Nous reviendrons tout à l'heure sur l'œuvre de M. Vincenz Pollack, mais nous voulons auparavant le remercier, ainsi que

---

(1) « Faute des crédits nécessaires et faute d'avoir été tenus au courant, ni le Ministère de l'Intérieur, ni l'Institut géographique militaire, dit M. Pollack, ne s'étaient intéressés à cet art. C'est donc à la Direction générale des Chemins de fer de l'État autrichien que revient le mérite d'avoir fait entreprendre les essais qui ont fini par acquérir une véritable importance. »

plusieurs de ses compatriotes, de la courtoisie dont ils ont usé envers nous et des efforts qu'ils ont faits pour se bien renseigner sur les origines et les développements d'un art qu'ils ont su apprécier, dès qu'ils ont commencé à le pratiquer.

Les auteurs autrichiens savent, en effet parfaitement, que Beautemps-Beaupré a, dès la fin du siècle dernier, exécuté d'excellentes cartes en combinant deux à deux des vues dessinées à main levée; ils conviennent que j'ai été le premier à appliquer avec succès la chambre claire et la Photographie au lever des plans; enfin, ils ont vu, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, les résultats de l'expérience faite à Grenoble en 1864 par le capitaine Javary, et reconnaissent que nous n'avions été devancés par personne. Ils n'ont cependant pas su toujours se garantir contre les erreurs et les confusions contenues dans des publications antérieures où l'on a supposé, par exemple, que les appareils panoramiques, cylindriques, sphériques ou donnant des perspectives rayonnantes, présentaient des avantages sur la chambre ordinaire qui donne des perspectives planes, en prenant pour prétexte le champ restreint de cette dernière ([1]).

De là, les descriptions détaillées de la planchette photographique du docteur (et non de l'opticien) Chevallier, dont personne ne s'est servi sérieusement, en dépit d'une réclame étourdissante, et les prétendus progrès dus à Meydenbauer, qui n'a produit aucun travail topographique de quelque importance et a eu seulement le facile mérite d'utiliser les objectifs perfectionnés de Busch et de Steinheil. De là le rôle d'initiateur gratuitement attribué à Porro qui n'a jamais construit un plan à l'aide de la Photographie et qui n'a laissé sur ce sujet que les élucubrations dont nous avons donné une analyse plus que suffisante.

Ce qu'il y a de certain, c'est que les auteurs autrichiens, aussi bien que les Allemands et les Italiens, ont adopté et dé-

---

([1]) Ce qui n'est permis qu'à ceux qui n'ont pas bien compris comment nous opérons et qui n'ont vu ni nos cartes topographiques ni les beaux panoramas de Civiale exécutés, comme nous l'avons dit, avec des objectifs simples de 30° à 35° d'amplitude seulement.

crit la méthode exposée dans nos Mémoires de 1854 et de 1864, sans y rien changer (1); qu'après avoir recommandé de déterminer la constante de chaque appareil, c'est-à-dire la distance focale de l'objectif, qui est *la distance du point de vue au tableau,* et d'assurer, à l'aide de quatre repères fixés au châssis, le tracé de *la ligne d'horizon* et celui du *point principal,* ils indiquent les moyens d'orienter les deux vues que l'on doit combiner pour construire le plan point par point, *sans avoir à lire d'angles sur les épreuves,* enfin, qu'ils calculent les cotes de nivellement par une quatrième proportionnelle et que, ces cotes obtenues en nombre suffisant, ils se laissent guider par les formes du terrain conservées sur les épreuves pour tracer les sections horizontales. Toute la méthode, en effet, se résume en ces quelques lignes.

Les brochures de M. Vincenz Pollack, et en particulier, celle où il est rendu compte d'une communication faite à la séance annuelle de la Société de Géographie de Vienne, le 17 mars 1891 (2), ont beaucoup contribué à populariser la Métrophotographie en Autriche-Hongrie. Après lui, nombre de professeurs et d'ingénieurs appartenant à divers ministères ont publié des Notices qui contiennent l'exposé de la méthode générale,

---

(1) Je suis bien loin, en m'exprimant ainsi, de vouloir rabaisser le mérite de la plupart des auteurs qui ont écrit sur la Photogrammétrie; ceux-ci n'avaient pas à refaire ce qui avait été fait antérieurement et ils ont pensé, avec raison, qu'il valait mieux marcher en avant. Comme tous les autres arts, celui dont il s'agit est naturellement susceptible de perfectionnements et de développements incessants et il a, en effet, déjà donné lieu à des recherches très intéressantes. Plusieurs problèmes de perspective, pour lesquels on a dû recourir à des théories géométriques d'un ordre élevé, ont ainsi été élégamment résolus; nous renvoyons donc avec plaisir le lecteur aux ouvrages de MM. Hauck, Jordan, Koppe, Finsterwalder, Pizzighelli, E. Deville, Pollack, Schiffner, Kobsa et Steiner, pour ne citer que les plus importants.

(2) *Ueber photographische Messkunst, Vortrag gehalten in der Jahresversammlung der K. K. Geogr. Gesellschaft in Wien* am 17. März 1891, von VINCENZ POLLACK, etc.

Citons encore : *Die photographische Terrainaufnahme mit besonderer Berücksichtigung der Arbeiten in Steiermark,* etc., von VINCENZ POLLACK; Wien, 1891;

Et *Ueber die Entwickelung der Photogrammetrie,* etc.; *Vortrag gehalten in Wissenschaftlichen Club, in Wien,* am 3. December 1891. Verlag von R. LECHNER; Wien, 1891.

la description d'instruments variés et d'autres renseignements propres à éclairer les corps intéressés et à les décider à utiliser la Photographie autrement et mieux qu'ils ne l'ont fait jusqu'à présent.

On sait que les ingénieurs des routes, canaux et chemins de fer, les ingénieurs forestiers, les militaires, les marins, les géologues, les explorateurs et les simples touristes se servent aujourd'hui couramment de la Photographie pour dresser des états de lieux ou pour fixer leurs souvenirs. En leur indiquant ou en leur recommandant les précautions si faciles à prendre pour que les propriétés géométriques dont sont naturellement douées les images photographiques puissent être mises à profit, on rendrait sûrement un grand service à tout le monde.

C'est le but que nous cherchons à atteindre depuis bien des années et c'est ce que paraissent avoir compris à merveille les auteurs des Ouvrages auxquels nous faisons allusion.

Indépendamment des brochures de M. Vincenz Pollack qui s'adressent à toutes les catégories de lecteurs, nous pouvons, en effet, citer encore en Autriche-Hongrie, celles de M. Franz Schiffner (1), professeur à l'École royale de la Marine, à Pola, l'ingénieur Steiner (2), professeur à l'École supérieure technique de Prague, Ferdinand Wang (3), commissaire inspecteur des forêts et *docent* à l'École supérieure de la culture forestière à Vienne, R. Kobsa (4), également fonctionnaire de l'administration des forêts, etc.

Si l'on ajoute que la Photographie théorique et pratique est

---

(1) *Die photographische Messkunst oder Photogrammetrie,* Halle, 1890; — *Grundzüge der photographischen Perspective*, Wien, Lechner; 1893.

(2) *Die Photographie im Dienste des Ingenieurs, ein Lehrbuch der Photogrammetrie,* Wien, Lechner; 1893. — Nous croyons devoir signaler tout particulièrement ce très intéressant ouvrage, l'un des plus complets qui existent sur la matière et aussi l'un de ceux qui ont été édités avec le plus de goût.

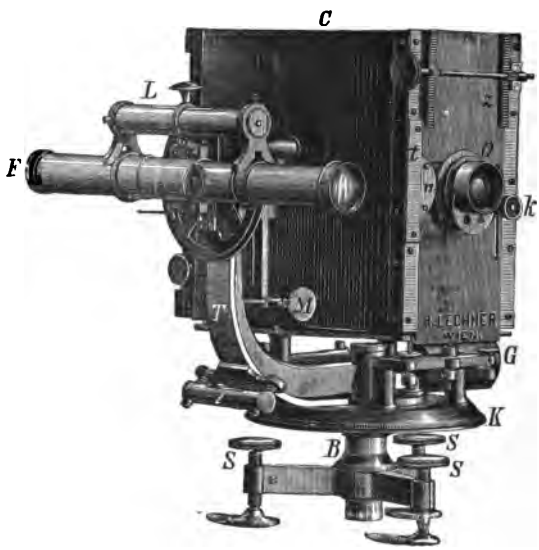
(3) *Die Photogrammetrie oder Bildmesskunst im Dienste des Forsttechnikers*, Laibach, Lechner; 1893.

(4) *Die Photogrammetrie oder Bildmesskunst und speciell deren Verwendung im Dienste des Forstbetriebseinrichters.* Vortrag Oesterreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen, II. Heft; 1892.

enseignée à Vienne, dans un Institut impérial et royal dirigé par l'éminent Dr Eder et que le plus grand soin est apporté à la construction des instruments spéciaux de Phototopographie par la maison Lechner, on peut prédire que l'art nouveau est sûrement appelé à faire de rapides progrès et à entrer dans la pratique générale des services publics en Autriche-Hongrie, dans ce pays dont la constitution physique se prête d'ailleurs merveilleusement, sur une grande partie de son étendue, à l'emploi de la méthode des perspectives.

M. Vincenz Pollack avait commencé à se servir d'un photo-

Fig. 1.



Photothéodolite de M. Vincenz Pollack.

théodolite de Meydenbauer, et c'est avec cet instrument peu commode qu'il a étudié et relevé une partie de la région de l'Arlberg située à des altitudes variant de 1000m à 2400m, couverte de rochers abrupts et sillonnée de crevasses et de couloirs d'avalanches où il eût été absolument impossible d'opérer autrement avec la même exactitude. Cet essai, quoique suffi-

sant pour occuper une place recommandable au dix-neuvième Congrès géographique allemand, en 1889, et pour attirer l'at-

Fig. 2. Vue prise de l'une des stations de Reichenstein.

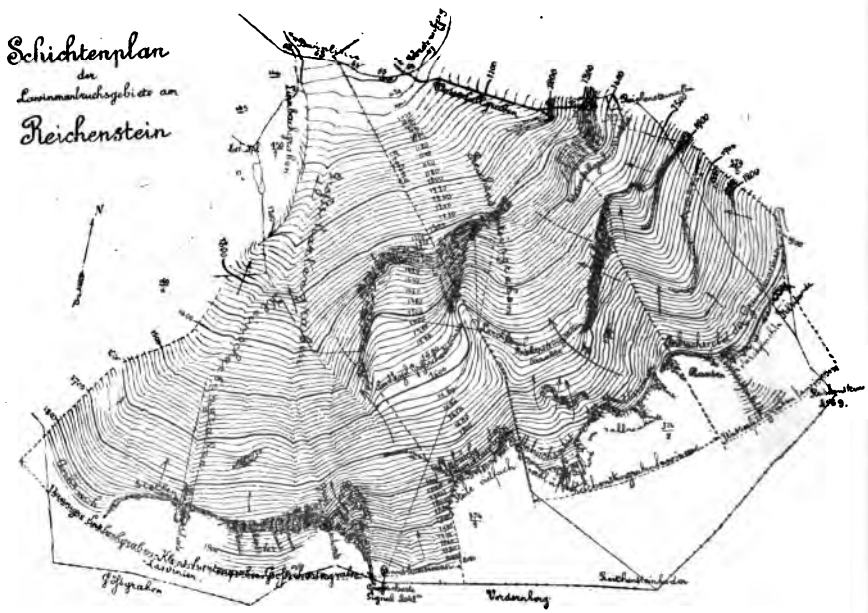
tention du public, ne satisfaisait cependant pas entièrement son auteur, qui chercha à construire un photothéodolite mieux approprié que l'instrument de Meydenbauer à l'étude du terrain. Nous donnons, ci-dessus, une figure qui représente le

photothéodolite construit par Lechner, et personne n'hésitera à reconnaître qu'il répond beaucoup mieux que l'autre au nom qu'il porte et à sa destination (¹).

L'auteur l'a employé immédiatement, à l'occasion du tracé d'un chemin de fer à crémaillères dans le massif de Reichenstein, en Styrie.

Nous n'entrerons pas dans le détail des opérations effectuées

Fig. 3.



Échelle de $\frac{1}{25000}$.

par M. Pollack; elles ne diffèrent en rien d'essentiel de celles que nous avons si souvent décrites. Nous dirons seulement que le lever destiné à l'étude d'un chemin de fer sur des crêtes

(¹) On remarquera sans doute la très grande analogie qui existe entre la disposition générale de cet appareil et celle que nous avions adoptée pour notre première chambre obscure topographique, construite en 1859, disposition que nous avons d'ailleurs conservée dans notre dernier modèle.

et sur des pentes rapides comprenait une étendue de terrain de $3^{kmq},5$ (350 hectares), dont la hauteur au-dessus du niveau de la mer variait de 1000^{m} à 2100^{m}. Vingt photographies, prises de sept stations, avaient suffi pour construire le plan à l'échelle de $\frac{1}{2880}$, qui est celle du cadastre (1^{lig} pour 20^{pl}) (¹).

Nous donnons, à titre de spécimen, une vue prise de l'une des stations de Reichenstein (*fig.* 2) et la partie la plus importante du plan (*fig.* 3) dont le relief est exprimé par des courbes de niveau équidistantes de 10^{m} en 10^{m}, l'échelle de $\frac{1}{2880}$ y étant réduite à celle de $\frac{1}{25000}$, et nous demandons à tout opérateur, si exercé qu'il soit, s'il préférerait employer une autre méthode en pareil cas et s'il espérerait mieux faire, en moins de temps.

Nous avons dit que la maison Lechner construisait des instruments très soignés. Il convient d'ajouter que le nombre des modèles proposés est déjà très grand et que, d'accord avec les auteurs, ils ont été divisés en trois catégories distinctes:

1° *Les chambres noires ordinaires* qu'il suffit de munir d'un niveau à bulle d'air pour les mettre en station et d'un moyen suffisamment exact d'assurer l'invariabilité de la distance focale. Il faut alors avoir, en outre, à sa disposition un instrument goniométrique indépendant de l'appareil photographique.

2° *Les photogrammètres*, que nous appellerions *métrophotographes*, destinés aux opérations purement topographiques et pouvant servir à la rigueur à des triangulations d'ordre inférieur. Ils comprennent, à cet effet, une chambre rigide munie d'organes simples nécessaires à la mise en station et à la mesure rapide des angles.

3° *Les photothéodolites complets* qui comportent des organes propres aux opérations géodésiques et particulièrement aux triangulations d'un ordre assez élevé.

(¹) Je ferai remarquer ici que M. Pollack, dont le but était d'étudier un tracé détaillé de chemin de fer dans un terrain très accidenté, n'a pas hésité à recourir à une grande échelle, et le spécimen dont nous donnons la reproduction réduite à une échelle huit fois et demie plus petite ne laisse cependant aucun doute sur la légitimité du choix de celle qu'il avait adoptée.

On ne peut qu'approuver le parti adopté par le directeur actuel de la maison Lechner, M. Wilhelm Müller, de signaler à l'attention des opérateurs les différents systèmes qui répondent à des besoins divers et les appareils correspondants de MM. Werner, Lechner lui-même, baron Hübl et Vincenz Pollack. Il serait à souhaiter que cet exemple fût suivi par les constructeurs français.

Nous croyons d'ailleurs, en ce qui nous concerne, avoir suffisamment fait connaître à ce sujet notre opinion qui peut se résumer en quelques mots :

Se contenter d'appareils ordinaires peu coûteux associés à des goniomètres, comme nous l'avions fait à nos débuts; c'est ce que nous conseillons aux voyageurs et aux touristes qui ne peuvent ou ne veulent faire que de simples reconnaissances;

Recourir au modèle de photothéodolite décomposable que nous avons proposé en dernier lieu et qui reste toujours dans la classe des instruments de Topographie, mais qui, dans les mains d'opérateurs tant soit peu exercés, permet d'entreprendre des levers détaillés et réguliers pouvant prétendre à une grande exactitude.

Nous n'avons jamais conseillé et nous ne conseillerons jamais de réunir des organes géodésiques de haute précision à une chambre noire; les grandes triangulations, quand elles seront nécessaires, devant toujours être entreprises à part et confiées à des géodésiens exercés (c'est, comme nous le verrons, ce que l'on a eu soin de faire au Canada). En effet, en pareil cas, la division du travail s'impose, et les opérateurs qui emploient le plus habilement les appareils photographiques munis d'organes simples de calage et de nivellement ne doivent être chargés en outre que des triangulations d'ordre secondaire et des mesures angulaires nécessaires pour le rattachement de leurs opérations au grand réseau; ils peuvent donc se contenter, en général, de goniomètres topographiques.

Cette critique des instruments trop délicats ne s'applique d'ailleurs que dans une certaine mesure au photothéodolite de M. Pollack, déjà beaucoup plus simple que ceux du Dr Koppe, de M. Paganini Pio et de quelques autres que nous avons surtout voulu viser.

Nous compléterons ce que nous avions à dire sur les symptômes si intéressants qui se sont produits, depuis six ou sept ans, en Autriche-Hongrie en faveur de la Métrophotographie par un exposé presque textuel des réflexions très judicieuses présentées par M. Pollack à la Société géographique de Vienne, dans sa séance du 17 mars 1891.

Afin de faire mieux sentir les avantages de l'emploi de la Photographie dans la construction ou dans la révision des cartes topographiques, M. Pollack avait demandé et obtenu de M. Paganini Pio les feuilles de la région des Alpes Graïes et Rhétiques, au nord de Chiavenna et jusqu'au Splugen, exécutées à l'échelle de $\frac{1}{50000}$ et qu'il jugeait les meilleures de ce genre qui eussent été faites à cette époque. Il les avait exposées et placées en regard des cartes de la Suisse, à la même échelle et pour la même région et, malgré la réputation de ces dernières, la comparaison rendait leurs imperfections manifestes.

« Bien des personnes, disait M. Pollack, parmi celles qui ont à opérer dans les pays de montagnes, les militaires, les ingénieurs, les géologues notamment, se plaignent de ce que les cartes topographiques les plus détaillées sont trop souvent inutilisables pour elles. Ces cartes ont cependant une très belle apparence, mais, dès que l'on a besoin de s'en servir dans un but pratique ou technique, on ne tarde pas à y découvrir des erreurs qui en rendent l'emploi incertain ou même impossible, principalement parce que le nivellement (même quand il est exprimé par des courbes) laisse beaucoup à désirer. »

M. Pollack ne s'est pas formé une opinion à ce sujet simplement par ouï-dire. Chargé en 1890, par son administration, de parcourir la frontière alpestre entre l'Autriche et la Suisse, et s'étant muni des meilleures cartes existantes, il n'avait pas tardé à constater leur inexactitude, aussi bien en suivant les crêtes ou les pentes, qu'en parcourant les vallées.

Dans la Bohême centrale, où cet ingénieur avait eu, quelques années auparavant, à faire des études pour un chemin de fer, en cherchant à dessiner sur des cartes à l'échelle de $\frac{1}{25000}$ un projet de tracé, pour s'éclairer sur la possibilité de l'exécution,

il fit la désagréable découverte qu'en certains points, les thalwegs étaient trop profonds de 10^m et que, sur les lignes de partage des eaux, il y avait, au contraire, des points trop élevés de la même quantité, ce qui entraînait de sérieux inconvénients et de graves incertitudes dans le tracé.

Dans les Alpes, les erreurs sont encore plus fortes; les cotes de hauteur inscrites sur les cartes sont très rares et le plus souvent réduites à celles des sommets et des fonds de vallées.

M. Pollack cite, par exemple, sur le versant nord de la chaîne des Alpes de la Styrie, une vallée dont le fond et les flancs présentent des erreurs de nivellement variant de 30^m à 70^m de hauteur par rapport à un point de repère fixe bien vérifié.

Il tient, d'un autre côté, du professeur Siegl, qui a une grande notoriété comme peintre de panoramas, à Grätz, que la position même de certains sommets de cette chaîne est inexacte.

Le temps est donc venu, selon M. Pollack, de faire cesser un semblable état de choses et de prendre des mesures pour que les cartes militaires, qui peuvent être suffisantes à ce point de vue et généralement remarquables comme exécution matérielle, deviennent utilisables au double point de vue technique et scientifique. Pour y parvenir, *c'est à la Photogrammétrie et à elle seule qu'il faut recourir,* car elle ne laisse rien à désirer sous le rapport de l'exactitude et de la rapidité des opérations et elle offre en outre l'avantage de conserver fidèlement les formes caractéristiques du terrain, dans les contrées très accidentées principalement, où elle est à coup sûr préférable à toutes les autres méthodes.

« La facilité qu'elle procure de consulter, en tout temps, les vues pittoresques, dit l'auteur, est un frein aux exagérations si communes de la part des dessinateurs qui se fient à leur coup d'œil et à leurs appréciations trop rapides; elle les oblige, en un mot, à une plus sérieuse observation de la nature. On voit, en effet, immédiatement, sur les cartes exposées (construites à l'aide de photographies), que celle-ci a été prise sur le fait et, en regardant de plus près, on reconnaît peu à peu

les pentes plus ou moins régulières, plus ou moins accentuées, les crêtes saillantes, les rochers, en un mot tous les accidents de terrain avec leurs véritables caractères, si bien que la vie, pour ainsi dire, remplace ici les conventions arides enseignées dans les écoles et qui conduisent le plus souvent à des interprétations grossières dont on se contente trop aisément. »

Nous pourrions borner là nos citations, qui suffisent sans doute à bien faire comprendre l'importance du mouvement que nous tenions à constater dans un pays où la Géographie est depuis longtemps en honneur, mais la conférence de M. Pollack, où nous avons déjà puisé tant de renseignements utiles, nous en offre encore de très intéressants sur les tendances actuelles des cartographes suisses, dont l'habileté et la compétence sont universellement reconnues. Nous reproduisons donc, à peu près textuellement, la fin de cette conférence dans l'espoir que les administrations françaises qui ont le devoir de se tenir au courant de tous les progrès accomplis ou tentés dans les pays voisins voudront bien prêter leur attention à ceux que nous leur signalons.

Une Commission de la Société des ingénieurs de Zurich, dit M. Pollack, à propos des progrès à réaliser en Cartographie, a exprimé, entre autres vœux, celui de voir publier des cartes répondant aux besoins techniques actuels.

L'Exposition universelle de Paris en 1889, ajoute-t-il (où, chose singulière, la Photogrammétrie n'était pas représentée) (1), a permis de se rendre compte, par comparaison, des progrès accomplis, dans ces derniers temps, en Cartographie, et provoqué des réflexions publiques (orales ou écrites) concernant les tendances qui s'y manifestaient. Ces réflexions ont été présentées principalement par des Suisses, le professeur major Becker, ingénieur topographe, le professeur Amrein et le colonel Fahrländer.

---

(1) Nous avions exposé, comme on peut s'en souvenir, en 1867, le plan de Faverges, les vues qui avaient servi à le construire, une chambre claire et l'appareil photographique (*voy.* 2e série, t. III, *Pl. VI* et *VII* ou t. IV, p. 389 et 401). Ce n'est pas notre faute si le Service du Génie n'a pas continué depuis 1871 l'œuvre entreprise et si avancée, dont il avait la responsabilité.

Becker a fait plusieurs propositions relatives à la construction des cartes suisses; il voudrait voir renoncer aux révisions interminables qui sont encore fondées sur des triangulations toujours trouvées insuffisantes, en finir, en un mot, avec ces opérations fondamentales si souvent recommencées et si onéreuses en exécutant un relief de la Suisse à l'échelle de $\frac{1}{25000}$ qui resterait comme le témoin d'une représentation rigoureusement exacte de ce pays, sauf les modifications que le temps pourrait y apporter.

Il faudrait naturellement obtenir de l'État les ressources nécessaires et créer une sorte d'école (Station d'essai) où les renseignements seraient fournis à ceux qui voudraient prendre part à des opérations de ce genre.

Comme exemple d'essais déjà réalisés, M. Pollack cite le beau relief du massif de la Jungfrau exposé à Paris en 1889 par l'ingénieur topographe Simon, à l'exécution duquel il avait employé 2000 *photographies*, et il annonce que l'auteur avait commencé, en 1890, un *lever photogrammétrique* de la partie inférieure du même massif, dans l'intention de construire un plan par *couches de niveau* d'égale épaisseur, à l'échelle de $\frac{1}{5000}$, destiné au tracé d'un chemin de fer devant aboutir au sommet de la montagne (4166^m). Ce travail, qui a nécessité l'emploi d'appareils photogrammétriques très réduits, doit être actuellement terminé (1).

M. Pollack parle encore d'études de glaciers faites en Bavière par Finsterwalder, Blümcke et Hess; il ajoute que les géologues allemands et autrichiens et, parmi eux, le conseiller supérieur des mines Mojsisovics, Wähner, F. et O. Simons, reconnaissent hautement la très grande utilité de la Photographie dans l'étude de la nature des roches, en ajoutant que la Photogrammétrie leur rendrait encore de bien plus grands services (2).

---

(1) Ce qu'il y a de certain, c'est que les études préparatoires du chemin de fer à crémaillères d'Interlaken à la Jungfrau sont achevées et doivent être prochainement soumises au Conseil national.

(2) Pendant le voyage que nous avons fait en 1886, aux États-Unis, nous avons eu l'occasion d'admirer les magnifiques photographies des Montagnes Rocheuses faites par le Service géologique, sous la direction du major Powell, et nous n'avons pas manqué d'insister auprès de ce si judicieux savant pour qu'il les utilisât à la construction des cartes.

M. Pollack ne comprend pas plus que nous qu'un explorateur, qui veut et doit se tenir à la hauteur des connaissances et les ressources de son temps, ne soit pas toujours muni d'un appareil photogrammétrique, très simplement construit et très léger, comme on sait les faire aujourd'hui, et pourvu de pellicules au lieu de plaques de verre (1).

Après avoir rappelé l'usage que l'on peut également faire de la Photogrammétrie en mer, pour la reconnaissance des côtes, en ballon, pour des vues étendues, à terre, de deux stations éloignées, pour l'étude de certains phénomènes météorologiques : hauteur et épaisseur des nuages, etc., M. Pollack constate avec une grande satisfaction que sa propagande et celle de quelques autres savants, le professeur Steiner, de Prague, en tête, n'ont pas été inutiles.

Ainsi, le directeur des travaux de la ville, conseiller supérieur Berger, à Vienne, a décidé que les ingénieurs de son service se mettraient au courant de la nouvelle méthode. L'éminent vice-président du Congrès (de Géographie), général major von Arbter, président de l'Institut géographique militaire, a pris une décision analogue; et il en a été de même de la part de nombreux chefs de service et d'officiers distingués, tels que le conseiller de gouvernement Wastler, le professeur Schell, de Vienne, les lieutenants-colonels Hartl et V. Sterneck, le capitaine baron Hübl, le capitaine du génie Bock, les lieutenants Krifka et Schlinder, etc.

On peut donc considérer, dès à présent, le succès comme assuré et cela est d'autant plus satisfaisant que l'Autriche, comme l'Italie, la Suisse et la France, renfermant de vastes contrées montagneuses, a le plus grand intérêt à prêter toute son attention aux procédés de lever topographique les plus propres à en faciliter l'étude.

Nous ne pouvons, en terminant cet exposé des efforts faits en Autriche-Hongrie et qui paraissent devoir s'étendre en Suisse, qu'y applaudir et féliciter les chefs de service qui les

(1) On connaît les inconvénients de la plupart des pellicules, mais il y a lieu d'espérer que l'on parviendra à les faire disparaître, et nous avons déjà vu quelques exemples de résultats excellents obtenus avec les pellicules *Planchon*.

ont favorisés et qui continuent à leur prêter l'appui de leur autorité. Nous voulons toujours espérer que les exemples qui se multiplient dans les pays voisins finiront par avoir raison des préjugés qui subsistent dans le nôtre, sans qu'il soit aisé de se rendre compte de leur persistance.

Nous allons voir enfin les progrès rapides que les levers photographiques ont faits de l'autre côté de l'Atlantique; ce sera notre dernier argument, mais le lecteur trouvera sans doute que l'on n'en saurait fournir de plus décisif.

4. — *La Métrophotographie en Amérique.*

États-Unis. — Il a paru, en 1888, à New-York, un Ouvrage intéressant de M. le lieutenant Henry A. Reed, U. S. A., intitulé *Photography applied to Surveying*, qui fut sûrement le premier de ce genre destiné à mettre les ingénieurs américains au courant d'une question qu'il leur était permis d'ignorer, puisqu'elle était encore si peu connue en Europe.

Pendant une visite que j'eus l'occasion de faire, en décembre 1886, à l'École militaire de West-point, où M. le lieutenant Reed était attaché à l'enseignement du dessin géométrique, cet officier m'avait entretenu du travail de rédaction qu'il avait entrepris et parlé de levers qu'il se proposait de faire, à l'aide de la Photographie, dans les environs de l'École dont la situation, sur un plateau qui domine la vallée de l'Hudson, se prêterait admirablement à une semblable expérience.

J'ai revu en 1889, à Paris, M. Reed qui voulut bien m'offrir un exemplaire de son Ouvrage, mais je n'ai jamais su s'il avait exécuté son projet et, comme il a quitté West-point pour entrer dans l'industrie, peut-être n'a-t-il plus eu le temps de s'en occuper.

Son livre était intéressant, je le répète, surtout à l'époque où il a paru et pour ceux auxquels il s'adressait, mais ce n'était, en définitive, qu'une compilation faite principalement à l'aide des publications françaises, sans préférence arrêtée en

faveur de telle ou telle méthode, de tel ou tel instrument. Nos travaux et ceux de M. le capitaine Javary y étaient très honorablement mentionnés et l'on y trouvait même une reproduction du plan des environs de Sainte-Marie-aux-Mines à l'échelle de $\frac{1}{20000}$ que connaissent bien nos lecteurs.

L'impartialité, on pourrait dire l'absence de critique dont on est d'abord frappé en parcourant le livre de M. Reed, est sûrement une preuve de sa bonne foi et sans doute aussi de la difficulté qu'il aurait rencontrée à contrôler de loin l'exactitude ou l'importance des renseignements qu'il avait recueillis.

Quelques autres personnes ont encore écrit sur la Métrophotographie aux États-Unis, mais nous sommes obligé de dire que cet art paraît leur être généralement peu familier, car il s'agit toujours de compilations plus ou moins heureusement agencées; aussi hésitons-nous à croire, comme cela a été avancé quelque part, à une application effective de la Photographie à l'U. S. Coast Survey ([1]).

Enfin, nous devons avouer que, malgré nos très vives instances auprès du savant et vénérable major Powell, directeur du *Geological and topographical Survey*, nous n'avons pas appris que ces deux grands services aient adopté définitivement la Métrophotographie pour poursuivre leurs belles opérations; mais nous espérons toujours qu'ils ne tarderont pas à en reconnaître les avantages et à y recourir, particulièrement dans les contrées montagneuses dont une si grande partie reste encore à explorer en détail et où la Photographie est déjà employée depuis longtemps, avec le plus grand suc-

---

([1]) Il a paru en 1892, dans le *Report of the superintendent of the U. S. Coast and geodetic Survey, part. II*, un Mémoire de l'Assistant J.-A. Flemer, intitulé : *Photogrammetry. Short historical review of french and german Surveys*, qui est une ébauche assez incomplète du sujet, mais dont les conclusions sont cependant favorables. Il est suivi d'un rapport du comité de l'U. S. Coast Survey sur un autre Mémoire de l'Assistant Bache relatif aux levers par la Photographie faite en ballon captif, dans lequel la méthode proposée par l'auteur est très critiquée. Enfin, l'*American journal of Photography* de décembre 1893 contient un article très sommaire et fort peu concluant du professeur R. Meade Bache, qui donne à supposer que ce dernier n'a pas une très grande confiance dans la méthode photographique qu'il ne semble d'ailleurs pas avoir expérimentée. (*Voy.* la Note complémentaire, p. 109).

cès, pour représenter les sites les plus pittoresques, les *scenerie*s qui y abondent.

Quoi qu'il en soit, nous n'avons encore rien de bien positif à constater en fait de travaux métrophotographiques aux États-Unis, mais à l'heure même où nous écrivons (janvier 1894), peut-être un premier essai décisif a-t-il été fait sur la frontière du Dominion du Canada où nous allons rencontrer, d'ailleurs, les résultats les plus remarquables obtenus jusqu'à ce jour, aussi bien en Europe qu'en Amérique ([1]).

Canada. — En apprenant, vers la fin de 1892 seulement, l'existence d'un Ouvrage sur les levers photographiques publié en 1889, par M. E. Deville, arpenteur général du Canada ([2]), après me l'être procuré et en avoir pris connaissance, je considérai comme un devoir d'entrer en relations avec son auteur.

Dès les premières pages de la préface, j'avais trouvé, en effet, un passage si obligeant pour moi que je ne pouvais pas paraître y rester indifférent.

« L'application de la Photographie au lever des plans, y » est-il dit, est aussi ancienne que l'art lui-même. Arago, en » faisant connaître la découverte de Daguerre, l'avait signalée; » mais c'est seulement vingt-quatre ans plus tard que Lausse- » dat développa la méthode dans le *Mémorial de l'officier* » *du génie*. Son travail était si complet que, depuis, il y a » été ajouté peu de chose ([3]). »

C'est dans cette même préface ([4]) que M. Deville s'étonne de l'abandon au moins apparent de la méthode dans le pays où elle est née et qu'il cherche à l'expliquer par le choix de trop grandes échelles et par ce fait que la France et les autres

---

([1]) On trouvera plus loin une note qui confirme cette prévision (*Voy.* Note complémentaire, p. 109).

([2]) *Photographic Surveying, including the elements of descriptive Geometry and Perspective,* by E. Deville, surveyor general of Canada. Lithographied at the Survey office; Ottawa, 1889.

Cet ouvrage me fut signalé au Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences, tenu à Pau, en 1892, par M. le prince Roland Bonaparte.

([3]) *Photographic Surveying*, etc., préface, p. 6.

([4]) *Loc. cit.*, p. 7.

États européens ont déjà d'excellentes cartes topographiques.

Nous avons répondu plus haut à ces deux explications et nous n'y reviendrons pas; nous préférons appeler l'attention du lecteur sur les résultats que nous venons d'annoncer et qui nous ont été communiqués par le savant directeur du Service du cadastre au Canada. Mais, avant de reproduire l'exposé présenté par M. Deville lui-même, il nous a paru à propos de jeter un coup d'œil sur l'Ouvrage qu'il a rédigé pour l'instruction de son personnel. C'est un volume in-4° de 324 pages, composé à l'aide d'une machine à écrire et tiré seulement à 50 exemplaires, qui contient, ainsi que l'indique son titre, des éléments de Géométrie descriptive et de Perspective. Ces éléments, très clairement présentés et étendus à la solution du problème inverse de la Perspective, sont suivis de la description des instruments qui servent à obtenir des vues rigoureusement géométriques (*diagraphes, chambre claire, chambre noire*) et de ceux qui, sous les noms de *perspectographes* ou de *perspectomètres*, ont été proposés pour revenir des perspectives aux plans.

Ces préliminaires forment les trois premiers Chapitres de l'Ouvrage; le quatrième est consacré à la description et à l'usage des instruments employés sur le terrain.

Pour les opérateurs canadiens, ces instruments sont au nombre de deux : un théodolite ou altazimut de dimensions très modérées, construit par Steinheil fils, de Munich, et une chambre noire très simple, de forme invariable, du format de $4^{po}\,\frac{3}{4} \times 6^{po}\,\frac{1}{2}$ anglais (correspondant à notre 13×18 un peu réduit). L'objectif est un grand angulaire de Dallmeyer de $5^{po}\,\frac{5}{8}$ ($0^{m},143$) de foyer donnant des images de 45° d'amplitude dans un sens et de 60° dans l'autre.

La chambre est montée sur un trépied muni de vis calantes et porte deux niveaux placés à angles droits sur la face supérieure de la boîte qui servent à assurer la verticalité du châssis et des surfaces sensibilisées. Enfin, quatre repères en forme de peignes sont disposés à l'intérieur pour servir au tracé de la ligne d'horizon et de la ligne droite dont l'intersection donne le point principal de la perspective. Indépendamment de la triangulation générale dont il sera question plus loin, l'opéra-

teur chargé de faire les photographies se sert aussi d'un altazimut [1] pour orienter celles-ci. M. Deville insiste sur les moyens de vérification des *constantes* de l'appareil photogra-

Fig. 4.

Appareil photographique de M. E. Deville.

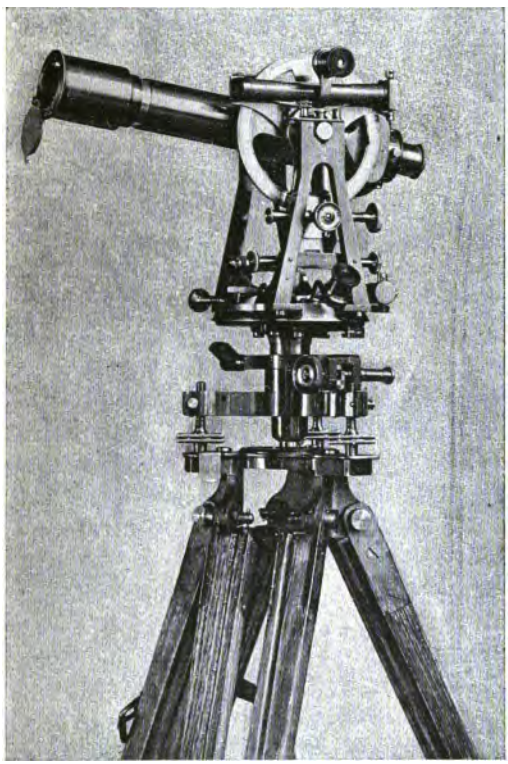
phique et explique en outre comment il convient de contrôler et de modifier ces constantes sur les épreuves positives préparées pour le travail graphique.

---

[1] Nous avons déjà dit qu'à notre avis, il devrait y avoir deux sortes d'instruments de ce genre, les uns pour les grandes triangulations faites par les géodésiens et les autres, moins délicats, pour les opérations secondaires.

La simplicité de l'appareil photographique de M. E. Deville contraste, comme on peut le voir sur la figure ci-dessus (*fig.* 4), avec la complication de tous ceux qui ont été imaginés et con-

Fig. 5.



Théodolite ou Altazimut de Steinheil.

struits en Allemagne et en Italie. Nous donnons également une vue de l'altazimut (*fig.* 5) qui complète le bagage des opérateurs canadiens.

Dans le cinquième Chapitre de l'Ouvrage se trouvent décrites les opérations photographiques proprement dites. Toutes les précautions à prendre pour la manœuvre des châssis mobiles qui contiennent les plaques sensibilisées, leur numérotage, la

durée de l'exposition, etc., y sont indiquées avec le plus grand soin. L'auteur, fort au courant des progrès incessants de la Photographie, n'ose pas encore recommander les pellicules; il donne d'excellents conseils pour l'emploi des plaques au gélatinobromure orthochromatiques et pour leur développement à l'hydroquinone. Ce Chapitre se termine par l'indication des règles à suivre pour procéder à l'agrandissement des vues qui, dans les conditions où l'on opère au Canada, doit être effectué dans le rapport de 2 à 1, pour donner à la distance du point de vue au tableau une longueur convenable [1] (environ 1 pied anglais, en comptant sur l'extension des épreuves positives tendues sur bristol).

Le Chapitre VI traite de la triangulation; il est très sommaire, mais les détails, il faudrait dire les conseils qu'il renferme dénotent de la part de celui qui les donne une grande expérience de ce genre d'opérations. Nous résistons toutefois à la tentation de les reproduire, parce que nous aurons l'occasion d'y revenir, dans les *instructions* que nous nous proposons nous-même de publier. Il convient d'ajouter d'ailleurs que les conseils dont il s'agit s'appliquent particulièrement au cas des levers en pays de montagnes et dans les contrées encore peu explorées.

Nous nous bornerons donc à répéter que le principe de la division du travail entre géodésiens et topographes généralement adoptée pour l'exécution des grandes cartes topographiques a été observée au Canada, où les photographes sont considérés comme remplaçant les topographes et ne sont chargés, en conséquence, en dehors de la Photographie, que de triangulations et d'opérations de rattachement d'ordre secondaire.

Sous le titre de construction du plan (*Plotting the Survey*), le Chapitre VII comprend l'exposé très détaillé des opérations qui s'exécutent dans le cabinet, l'indication des précautions à prendre pour tenir compte, au besoin, des effets de la dilatation ou de la contraction des épreuves positives sur papier et la description des moyens les plus simples à employer pour

---

[1] Sur l'ensemble des épreuves qu'a bien voulu m'envoyer M. Deville, j'ai trouvé cette distance égale à $0^m,3125$, tandis que le double de la distance focale de l'objectif serait seulement de $0^m,286$.

rapporter sur le plan les points remarquables du terrain reconnus sur les différentes vues, par la méthode des intersections. Éventuellement et pour des lignes continues qui sont sensiblement horizontales, comme les bords d'un lac, d'une rivière, le pied d'une montagne et pour quelques autres qui ne présentent que de faibles accidents de niveau, l'auteur recommande l'emploi du perspectographe, en faisant remarquer que de légères inclinaisons ou différences de niveau n'affectent guère les résultats, quand la station est très élevée.

On trouve dans le même Chapitre plusieurs procédés pratiques pour le calcul des hauteurs relatives des points déterminés sur le plan et pour le tracé des courbes de niveau.

Parmi ces procédés, il y a lieu de signaler celui qui est basé sur l'usage d'une sorte de *châssis perspectif* désigné par M. Deville sous le nom de *photograph Board*, fort ingénieux et destiné à la fois à abréger les opérations et, dans bien des cas, à guider sûrement l'opérateur.

Le huitième et dernier Chapitre se rapporte aux photographies sur tableaux inclinés ou horizontaux, comme celles que l'on obtient en ballon.

Pour les premières, qu'il suppose aussi obtenues dans des reconnaissances secrètes, comme elles sont alors de très petites dimensions et peu susceptibles d'être agrandies parce qu'elles sont instantanées, M. Deville pense qu'on ne doit guère compter sur l'exactitude des mesures qu'on y relève. Quant aux autres, c'est-à-dire aux vues prises en ballon, il doute que le procédé auquel elles sont dues devienne jamais pratique et il est plutôt disposé à le considérer comme présentant seulement un intérêt de curiosité.

Il ne donne pas moins quelques règles et quelques indications pour en tirer parti, mais il ne partage pas cette opinion qu'en dehors des services que ce procédé peut rendre en temps de guerre, il serait destiné à prendre rang parmi ceux qui servent à lever régulièrement les plans ([1]).

([1]) Nous sommes aussi de ce dernier avis, mais cela ne nous empêche pas de souhaiter que l'on utilise plus qu'on ne l'a fait jusqu'à présent les photographies prises en mer, en ballon et même à l'aide de cerfs-volants.

Nous n'hésitons pas, après nous être procuré à peu près tous les Ouvrages et toutes les brochures annoncés jusqu'à présent (février 1894), à déclarer qu'il n'a paru dans aucune langue, sur la matière qui nous occupe, un Traité plus clair et plus complet que le *Photographic Surveying* de M. E. Deville. Il n'est donc pas surprenant que les opérateurs qui sont ses élèves aient réussi à atteindre, aussi heureusement qu'ils l'ont fait, le but qui leur était assigné.

Nous avons eu le très grand plaisir de recevoir de M. Deville le tableau d'assemblage des opérations entreprises dans les Montagnes-Rocheuses du Canada depuis 1888, un spécimen des minutes de la carte à l'échelle de $\frac{1}{20000}$, dont nous avons donné une reproduction réduite à l'échelle de $\frac{1}{40000}$ qui est celle de la publication, tome V, *Pl. VI*, quatre des vues photographiées ayant servi à la construction de cette minute, dont deux, ramenées à peu près aux dimensions des épreuves que l'on agrandit avant de les employer, se trouvent pages 309 et 311 du tome V des *Annales* et, enfin, une série des feuilles déjà publiées à l'échelle de $\frac{1}{40000}$.

Nous ne pouvons que remercier publiquement l'auteur de son obligeance et le féliciter du succès de son entreprise, en lui laissant la parole pour en exposer l'économie ainsi que les résultats qu'il a fait connaître dans un Mémoire présenté à la Société royale du Canada, le 25 mai 1893, Mémoire dont nous donnons la traduction *in extenso*.

LEVER PHOTOGRAPHIQUE DES MONTAGNES-ROCHEUSES EXÉCUTÉ PAR LA PHOTOGRAPHIE;

Par M. E. DEVILLE;
Membre de la Société Royale du Canada.

(*Mémoire lu le 25 mai 1893*).

« Jusqu'à ces dernières années, les arpentages du gouvernement du Dominion étaient limités aux prairies de Manitoba

et des territoires du Nord-Ouest; les opérations étaient simples et consistaient seulement à borner les lignes de townships et de sections. Ces lignes forment un réseau au moyen duquel les accidents du terrain, toujours rares dans la prairie, sont suffisamment indiqués pour les besoins ordinaires.

» Il n'en fut plus ainsi lorsque le siège des opérations se trouva transporté dans les Montagnes-Rocheuses, et les méthodes qui avaient servi jusqu'alors cessèrent d'être applicables. Le terrain est extrêmement accidenté et l'arpentage des sections est toujours difficile, souvent impossible et la plupart du temps inutile. Une carte d'une exactitude moyenne était cependant indispensable pour l'administration de ces territoires, et il s'agissait de trouver les moyens de l'exécuter rapidement et à bon marché.

» Les méthodes ordinaires des topographes étaient trop lentes et trop dispendieuses; on essaya sans succès des reconnaissances avec triangulation et croquis à l'appui, enfin on eut recours à la Photographie. Les résultats sont des plus satisfaisants.

» La première application des perspectives mathématiques au lever des plans est due au colonel Laussedat, dont les procédés furent, en 1851, soumis à des épreuves multipliées par ordre du Comité des fortifications du Ministère de la Guerre français. Il obtenait ses perspectives au moyen de la chambre claire: l'année suivante, il lui substitua la Photographie. Son premier Mémoire parut en 1854, dans le *Mémorial de l'officier du génie*, n° 16.

» Le principe de la méthode est qu'une photographie produite par un objectif convenable, est une perspective mathématique, dans laquelle la distance du point de vue au tableau est égale à la longueur focale de l'objectif. Après avoir indiqué le point principal et la ligne d'horizon, on peut prendre directement sur l'épreuve toutes les mesures habituellement recueillies par le topographe sur le terrain. Il y a cependant cette différence: tandis qu'avec les instruments ordinaires le topographe est limité à un petit nombre de constructions, la Photographie en fournit une grande variété par l'application des lois de la perspective. La description de la méthode sorti-

rait du cadre de ce Mémoire (¹); son but est seulement de donner un aperçu du travail accompli au Canada et de ses résultats.

» Les levers de plans par la Photographie ne furent régulièrement commencés au Canada qu'en 1888, dans la chaîne principale des Montagnes-Rocheuses, près du chemin de fer Pacifique canadien. Ils ont été continués depuis sans interruption et couvrent maintenant environ 2000 milles carrés, qui se répartissent comme il suit :

	Milles carrés.	Kilomètres carrés.
1888.....	250	650
1889.....	400	1036
1890.....	375	970
1891.....	500	1295
1892.....	475	1230

» Le nombre donné pour 1892 comprend seulement les levers complétés : en tenant compte de ce qui n'est pas terminé, le travail de cette année équivaut à plus de 500 milles carrés.

» Ces levers ont tous été exécutés par M. J.-J.-Mac Arthur avec une équipe composée d'un aide-topographe, un muletier et un manœuvre. Il est à remarquer que le nombre de milles a augmenté de 250 en 1888, à 500 en 1891 et 1892. Cela s'explique par le manque d'expérience au début ; mais on a maintenant atteint une limite qu'il n'est pas possible de dépasser dans la partie des montagnes dont il s'agit. 500 milles (1300^{km} carrés) est l'étendue de terrain qu'une équipe, voyageant rapidement, peut *voir* (¹) pendant l'été ; comme la Photographie, pas plus que les autres procédés, ne permet de faire le plan de ce qui n'a pas été vu, ce chiffre de 500 milles est une limite qui s'impose, mais qui doit varier suivant la nature du pays. Elle sera plus considérable dans les terrains dé-

(¹) Les méthodes et instruments employés au Canada ont été décrits dans *Photographic Surveying including the elements of descriptive Geometry and Perspective*, by E. DEVILLE; Ottawa, 1889. Cet ouvrage n'a été imprimé qu'à cinquante exemplaires pour les ingénieurs du Gouvernement. L'édition est épuisée.

(¹) M. Deville sous-entend que l'équipe photographie ce qu'elle *voit*.

couverts et à grandes ondulations, et plus faible dans les endroits très accidentés, comme la chaîne de Selkirks, dans la Colombie anglaise. Quelques minutes suffisent au topographe, à chaque station, pour mesurer les angles et exposer les plaques ; il voyage donc continuellement, ne s'arrêtant que lorsqu'il fait mauvais. A l'automne, le muletier et le manœuvre sont congédiés : le topographe et son assistant emploient le reste de l'année à construire leurs plans.

» Un résumé des travaux d'une année donnera mieux que toute autre explication une idée des avantages de la méthode. En prenant 1892 comme exemple, on trouve que M. Mac Arthur part de Morley, district d'Alberta, le 29 juin. Avant cette époque, il y avait trop de neige pour circuler. Le 17 octobre, il cesse ses opérations, l'hiver ayant commencé et la neige étant venue de nouveau interrompre les communications. Des cent onze jours entre ces deux dates, quarante sont perdus par la pluie, la neige et la fumée des feux de forêt, il ne reste que soixante-trois jours pour le travail sur le terrain. En prenant 500 milles carrés pour l'étendue du lever de l'année, ce qui est légèrement au-dessous de la vérité, on trouve une moyenne de 8 milles carrés par journée de travail (un peu plus de 20^{kmq}).

» La carte est construite à l'échelle de $\frac{1}{20000}$ et réduite pour l'impression au $\frac{1}{40000}$.

» Certaines remarques d'une Revue américaine, au sujet de l'une des feuilles de la carte (Anthracite), donnèrent l'idée d'en faire un examen spécial, qui peut être cité comme exemple. La superficie de la feuille est de 63 *milles carrés* (163^{kmq}). La construction a été faite de six stations à l'intérieur et de onze stations à l'extérieur. On a déterminé mille soixante-quinze points par intersections ou par des constructions équivalentes en exactitude, en se servant de trente-cinq vues photographiques. Cela correspond à dix-sept points par mille carré (de six à sept points par kilomètre carré). Il n'y aurait aucune difficulté à en déterminer un plus grand nombre pour obtenir plus d'exactitude : on n'est limité que par le temps que l'on peut consacrer à la construction. La règle qui a été adoptée est que le topographe et son aide doivent terminer les

plans des travaux de l'année avant de commencer une nouvelle campagne. Si, plus tard, il était nécessaire de préparer un plan détaillé d'une localité quelconque, on pourrait le faire au moyen des vues déjà prises, *sans retourner sur le terrain*.

» Les dépenses pour 1892 se chiffrent comme il suit :

Muletier.....	$ 2,00 par jour	$ 429	(2145 fr)
Manœuvre.....	$ 1,50 »		
Transports et frais de déplacement.....		578,50	(2892,5)
Rations.....		394,71	(1973,5)
Divers.....		76,98	(384,9)
Total.....		1479,19	(7395,9)

» Si à cela l'on ajoute le salaire du topographe, $ 1500 (7500^{fr}) par an, et celui de son aide, $ 730 (3650^{fr}), on obtient un total de $3709,19 (18546^{fr}), ce qui, pour 500 milles carrés représente $ 7,42 par mille (environ 14^{fr},3 par kilomètre carré, 0^{fr},15 par hectare). Il ne faut pas oublier que ce travail se fait à une distance de plus de 2000 milles (plus de 3000^{km}) et que l'ingénieur se trouve à peu près dans les mêmes conditions que s'il était envoyé de Londres pour faire la carte des monts Ourals et avait à y revenir pour construire ses plans.

» Ce prix de revient, si faible, est dû à plusieurs causes. En premier lieu, les opérations du lever proprement dit ne demandent que quelques heures pendant toute une campagne : le topographe peut consacrer tout son temps à circuler et *voir* le pays : il suffit qu'il ait vu un endroit pour en faire le plan. Son travail se compose de deux parties bien distinctes : sur le terrain, il ne fait que collectionner des matériaux et, à l'exception de quelques angles, il ne perd pas son temps à faire des mesures. Il laisse cela pour l'hiver et le fait à tête reposée, dans son bureau, n'ayant d'autres dépenses que son salaire et celui de son aide.

» L'équipe d'un aide et de deux hommes est beaucoup plus faible et moins dispendieuse qu'avec les procédés usuels de la Topographie. En 1892, elle n'a pas coûté $ 1500 (7500^{fr}).

La construction de la carte se fait aussi plus rapidement, grâce aux ressources inépuisables de la perspective que le topographe a à sa disposition.

» Il ne faudrait cependant pas croire que tout lever entrepris par la Photographie doit réussir ou conclure d'un insuccès, après un premier essai, que la méthode est défectueuse. Le fait est qu'elle exige non seulement de l'expérience, mais encore la combinaison des qualités qui font un topographe accompli. Entièrement différente en cela des autres méthodes, elle ne lui met rien devant les yeux qui lui montre les progrès du lever et les lacunes qui peuvent y exister. Il n'a d'autres documents que ses plaques non révélées; chaque fois qu'il en expose une, il doit se rendre compte de ce qu'elle peut fournir, des données qu'il y puisera, des constructions qu'il emploiera, des autres vues qui sont nécessaires et de la manière dont elles se combineront ensemble. Tous les topographes n'ont pas ces talents et cependant ils sont indispensables pour réussir. Il n'y a pas lieu pour cela de blâmer la méthode, il faut seulement reconnaître qu'elle ne souffre pas la médiocrité. Convenablement appliquée, elle donne des résultats qui dépassent tout ce qu'on pourrait obtenir autrement.

» Le spécimen qui accompagne ce Mémoire est un coin de la feuille de *Pilot Mountain* (1). »

Note complémentaire relative aux progrès que semble faire la Métrophotographie aux États-Unis (avril 1894).

A l'occasion de la délimitation de la frontière entre l'Alaska et le Canada dont les opérations se poursuivent depuis l'année dernière, M. E. Deville a bien voulu, à ma demande, me procurer les renseignements suivants fournis en grande partie par M. W.-F. King, commissaire canadien pour cette délimitation.

(1) Au lieu de ce spécimen que nous n'avions pas à notre disposition, le lecteur peut se reporter à celui que nous avons donné dans les *Annales du Conservatoire*, tome V de la 2e série, *Pl. I*, qui représente les environs du Bow-Lake.

« Le commissaire pour les États-Unis est M. Mendenhall, surintendant du *Coast and geodetic Survey*. Il a été convenu entre les commissaires que chacun d'eux aurait un représentant dans chaque brigade topographique de l'autre. Les représentants de M. Mendenhall ont pu, par conséquent, se familiariser avec la méthode photographique, et il faut croire que leur rapport a été favorable, car il a dernièrement envoyé ici (à Ottawa) ses ingénieurs pour étudier nos procédés de construction et il nous a emprunté une série d'instruments pour en essayer lui-même l'application. »

Après avoir rappelé que, jusqu'alors, les services publics des États-Unis avaient été plutôt hostiles à l'emploi de la Photographie, ainsi qu'en témoigne un article de M. H.-M. Wilson, publié dans le journal de la *National Geographic Society of Washington*, M. E. Deville, déjà très heureux des symptômes qu'il vient de signaler, ajoute qu'il a tout lieu de croire que la méthode va s'introduire dans l'Utah et le Colorado pour l'étude des travaux d'irrigation et il termine par cette réflexion philosophique consolante et encourageante tout à la fois :

« Il serait assez singulier que le Service géologique qui est chargé des études topographiques et autres pour l'irrigation fût contraint, par l'opinion publique, d'adopter une méthode tout d'abord repoussée par ses ingénieurs. »

Voici maintenant quelques-uns des détails sur la marche des opérations de la délimitation, d'après M. King.

La principale difficulté que présente cette délimitation tient au défaut de précision dans la définition même de la limite qui, d'après le traité, doit passer par les sommets des montagnes situées parallèlement à la côte, mais à la condition que ces sommets ne s'éloignent pas de plus de dix lieues marines, auquel cas la limite serait tracée parallèlement à la côte et tout au plus à cette distance.

Cette condition nécessitait une étude assez complète du pays jusqu'à la limite des dix lieues.

Le travail fut entrepris simultanément par trois brigades de

la Commission des États-Unis et par sept brigades de la Commission canadienne.

Les premières se sont chargées de lever les îles et les deux rivières qui sont les principales voies de communication avec l'intérieur connues jusqu'à présent; elles ont fait un certain nombre de stations astronomiques et leurs reconnaissances, jointes à celles qui avaient été faites antérieurement par le *U. S. Coast Survey*, constituent le canevas du travail de la Commission.

Les brigades canadiennes ont abordé la topographie des montagnes qui s'avancent entre les rivières, en employant la méthode photographique. L'étendue sur laquelle elles sont réparties le long de la côte s'élève à plus de 100 milles. Chaque brigade est composée d'un topographe, d'un assistant, d'un cuisinier et de trois porteurs, six personnes en tout.

Le mode d'opérer consiste à faire la triangulation des sommets des montagnes avec un théodolite de 3 pouces et à lever les détails avec la chambre noire. Chaque brigade est pourvue d'une grande embarcation et de canots pour remonter les rivières et, comme la côte est profondément découpée par de grandes îles ou presqu'îles, les opérateurs abrègent singulièrement les trajets à effectuer par terre en s'approchant, par eau, jusqu'au pied des montagnes dont ils doivent atteindre les sommets.

Les principaux obstacles à ces travaux sont les pluies et les brouillards continuels qui font perdre des journées et même des semaines entières ([1]).

La surface à étudier par les sept brigades canadiennes est d'environ 5000 milles carrés (12500^{kmq}) sur lesquels le très expérimenté topographe M. Mac Arthur doit en lever plus de 1200 (3000^{kmq}).

Le travail est exécuté à l'échelle de $\frac{1}{80000}$ et les courbes horizontales y sont représentées à une équidistance de 250^{pi} ($76^{m},25$).

([1]) Il est bien évident d'ailleurs, et il est à peine besoin de le rappeler, que ces contretemps atmosphériques seraient bien autrement préjudiciables si l'on employait d'autres méthodes, au point même de rendre les opérations sinon impraticables au moins d'une longueur désespérante.

Il serait bien surprenant que les ingénieurs américains qui connaissent la valeur du temps ne se laissassent pas convaincre en voyant tous les avantages que procure la Photographie partout et surtout dans des circonstances où ils la voient triompher de tant d'obstacles.

NOTE FINALE (Juillet 1894).

Nous n'avons pas été seul à rencontrer de l'hésitation ou même une résistance presque absolue de la part de personnes très autorisées et de services organisés, généralement lents à se modifier, à l'adoption de la méthode photographique.

Nous avons vu, en effet, qu'en Allemagne, le grand État-major général était resté indifférent, même pendant la guerre, aux tentatives faites devant Strasbourg et devant Paris, qu'en Italie, les premiers essais du lieutenant Manzi Michele n'avaient pas été encouragés et qu'il a fallu l'esprit d'initiative du général Ferrero pour les faire reprendre et aboutir.

Nous savons aussi qu'en Autriche, M. Vincenz Pollack a été seul, pendant plusieurs années, à poursuivre des études pratiques dans lesquelles il a été heureusement soutenu par une administration avisée. Enfin, si M. E. Deville a pu, grâce à sa haute situation au Canada, exécuter une œuvre décisive, il n'a pas moins rencontré tout d'abord, de la part de ses puissants voisins des services publics des États-Unis, de l'incrédulité et des critiques dont il ne s'est d'ailleurs pas ému et auxquelles il a si victorieusement répondu.

Partout ces résistances ont disparu ou tendent à disparaître et les initiateurs dont j'ai cité si souvent les noms se félicitent des résultats tout à fait satisfaisants auxquels ils sont parvenus, à force de patience.

Nous ne tarderons pas à faire comme eux et nous pouvons même annoncer, en terminant, que nos efforts, notre propagande ont déjà déterminé un assez grand nombre d'indépendants à se mettre à l'œuvre. Deux conférences que nous avons faites, en mai dernier, au Muséum d'Histoire naturelle (et que nous avons publiées dans les numéros du 30 juin et du 21 juillet de la *Revue scientifique*), nous ont mis en relations avec plusieurs explorateurs qui se disposent à partir pour l'Extrême-Orient, pour le Soudan, pour Madagascar, pour les îles Kerguélen, etc. En France, d'habiles opérateurs, MM. Vallot, doivent entreprendre, cette année même, la carte du Mont-Blanc à l'aide de vues photographiques.

Enfin, un grand nombre d'ingénieurs et de savants étrangers, de Grèce, de Roumanie, de Belgique, de Suède, du Portugal, du Mexique, nous ont fait l'honneur de nous demander des renseignements que nous nous sommes empressé de leur donner et qui, nous l'espérons, les auront décidés à adopter la Photographie comme l'un des auxiliaires les plus indispensables (aujourd'hui, cela a presque l'air d'une naïveté) à tous ceux qui veulent étudier le terrain.

L'EXPOSITION DE CHICAGO.

COUP D'ŒIL

SUR

L'ENSEMBLE DE L'EXPOSITION,

CONFÉRENCE DU 21 JANVIER 1894,

Par M. Émile LEVASSEUR,

Membre de l'Institut, professeur au Collège de France et au Conservatoire des Arts et Métiers.

MESSIEURS,

Le Conservatoire des Arts et Métiers, avec le double enseignement qu'il donne directement par les leçons de ses professeurs et indirectement par son musée industriel et son portefeuille des brevets d'invention, est une des institutions de la France qui méritent le mieux le titre d'Institution populaire et qu'on a si justement surnommée la « Sorbonne de l'industrie ». Il célébrera bientôt son centenaire ainsi que le feront plusieurs autres grandes institutions scientifiques qui doivent, comme lui, l'existence à la Convention nationale. Le directeur, qui met toute sa sollicitude à compléter, autant qu'il lui est possible, cet enseignement pratique et qui avait organisé depuis 1891-1892 plusieurs séries de conférences sur la photographie, a décidé cette année qu'une nouvelle série serait faite sur l'exposition universelle de Chicago et il a demandé, à cet

effet, le concours de savants qui ont étudié à divers points de vue cette exposition. Les savants ont répondu à son appel. Il y aura en tout huit conférences qui, comme celle-ci, auront lieu le dimanche et dont le programme vous a été distribué (1).

Une exposition universelle fournit toujours une ample matière d'enseignements qui sont du ressort de la « Sorbonne de l'industrie ». Il est particulièrement intéressant de parler ici de celle de Chicago. Peu de Français l'ont vue et ceux qui les premiers l'ont fait connaître par les journaux ne l'ont pas, en général, appréciée à sa juste valeur. Elle se tenait dans une contrée dont nous sommes séparés par toute la largeur de l'océan Atlantique, dont l'agriculture, l'industrie et le commerce, comme la population, ont fait durant notre siècle des progrès gigantesques et où les mœurs économiques et politiques sont

---

(1) Liste des conférences :

1894.

21 janvier : *Coup d'œil sur l'ensemble de l'Exposition*, par M. Émile LEVASSEUR, membre de l'Institut, professeur au Collège de France et au Conservatoire des Arts et Métiers.

28 janvier : *Le Mouvement scientifique aux États-Unis*, par M. Jules VIOLLE, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, maître de conférences à l'École Normale supérieure.

11 février : *L'Industrie électrique aux États-Unis*, par M. Édouard HOSPITALIER, ingénieur des Arts et Manufactures, professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.

18 février : *La Mécanique générale à l'Exposition de Chicago*, par M. Gustave RICHARD, ingénieur civil des Mines, membre du Conseil de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale et du Comité de la Société des Ingénieurs civils.

25 février : *Les Industries d'art et les Écoles professionnelles aux États-Unis*, par M. Victor CHAMPIER, directeur de la *Revue des Arts décoratifs*.

4 mars : *L'Agriculture en Amérique : procédés et machines*, par M. Maximilien RINGELMANN, professeur à l'École nationale d'Agriculture de Grignon, directeur de la Station d'essais de machines agricoles.

11 mars : *Les grandes Constructions métalliques aux États-Unis*, par M. Jules PILLET, professeur à l'École nationale des Beaux-Arts, professeur suppléant au Conservatoire des Arts et Métiers.

18 mars : *L'Industrie manufacturière aux États-Unis et l'Exportation française en Amérique*, par M. Ernest LOURDELET, membre de la Chambre de Commerce de Paris.

à plusieurs égards très différentes de celles des contrées européennes : autant de motifs qui expliquent notre connaissance imparfaite de l'Amérique et qui doivent piquer notre curiosité.

C'est la seconde exposition universelle qui se tient aux États-Unis. En 1876, les Américains ont célébré le centenaire de leur indépendance par celle de Philadelphie. En 1893, ils célébraient le quatrième centenaire de la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb. Vous pouvez me demander pourquoi fêter en 1893 le premier centenaire d'un événement qui date du 12 octobre 1492. C'est que, dans les siècles passés, quand les chemins de fer et les bateaux à vapeur n'existaient pas, personne n'aurait eu l'idée de convoquer les nations à exhiber, dans une commune solennité, les richesses de leur sol et de leurs ateliers; il y avait alors des foires où les marchands venaient vendre; il n'y avait pas d'expositions où les producteurs vinssent pour le plaisir d'étaler leurs produits. Les expositions universelles et les congrès internationaux autres que ceux des diplomates ont été, comme tant d'autres nouveautés de notre temps, engendrés par la vapeur. Quant à la date de 1893, elle a été substituée à celle de 1892 parce que les organisateurs n'ont pas été prêts plus tôt.

Ce n'est pas qu'ils aient manqué de diligence. Plusieurs villes se disputaient l'honneur de posséder la « World's columbian exposition », New York, Chicago, Saint-Louis, Washington. Ce n'est que le 17 juin 1890 que le Congrès, c'est-à-dire le pouvoir législatif national des États-Unis, a donné, par 157 voix (contre 107 données à New York), la préférence à Chicago. Deux années n'ont pas suffi pour les immenses préparatifs qu'il fallait faire.

Chicago avait déjà constitué une « corporation », c'est-à-dire une société investie du pouvoir d'exécuter l'œuvre. La corporation s'est mise immédiatement au travail. Elle a adopté comme emplacement « Jackson park », partie du « South park » situé, comme son nom l'indique, dans la partie méridionale de la ville. Sur le plan général de MM. Fr. Law Olmsted, Root et Burnham, le terrain a été entièrement remanié, les fondrières ont été creusées et converties en bassins et canaux, les marais desséchés, les dunes nivelées; les bâtiments

construits d'après les plans particuliers de chaque architecte, mais avec certaines conditions communes, comme par exemple celle de la hauteur des entablements des façades qui ne devaient pas dépasser $18^{m},29$, ce qui est à peu près la hauteur d'une maison à quatre étages.

Le budget des ressources se composait d'un capital de 5604000 dollars, d'une subvention de 5 millions de dollars donnée par la cité de Chicago, de médailles, « souvenir coins », et primes d'une valeur de 2 millions $\frac{1}{2}$ de dollars données par le gouvernement national et d'obligations que la corporation a émises. Les recettes provenant des entrées et des concessions se sont élevées, d'après le compte provisoire du 12 novembre dernier, à 10 millions $\frac{1}{2}$ de dollars, ce qui a porté le total de la recette de la corporation à 28151000 dollars, soit en nombre rond 142 millions de francs. On en espérait 34 millions $\frac{1}{2}$ (172 millions de francs). Les constructions ont coûté 18,3 millions de dollars (91 millions de francs) et, sur les recettes, la corporation a pu rembourser les obligations qu'elle avait émises. Chacun des 44 États a construit son palais; les puissances étrangères ont eu aussi le leur. Les sommes ainsi dépensées, ajoutées à celles de la corporation, forment un total de près de 190 millions de francs. L'exposition universelle de 1889 à Paris a coûté 43 millions. Quoiqu'en cette matière on obtienne moins en Amérique qu'en France avec une même somme d'argent, vous pouvez juger, par la comparaison des deux nombres, du gigantesque effort qu'a fait Chicago.

Je vous disais que la presse n'avait pas tout d'abord jugé favorablement le résultat de cet effort. Je ne parle pas seulement de la presse française, mais de la presse européenne et même d'une partie de la presse américaine. La plupart des journalistes étaient venus pour l'inauguration, ayant hâte d'envoyer à leur journal les prémices de cette solennité. Or il s'est trouvé que l'inauguration a eu lieu par un temps détestable, sur un sol détrempé et boueux, sous un ciel gris, devant des caisses non déballées; les journalistes, piétinant dans la boue, perdus dans la foule comme de simples mortels, n'ont recueilli que des déceptions et ont versé leur mauvaise humeur dans leurs articles.

Plus tard, la France a reçu de temps à autre des nouvelles de l'exposition par des journaux américains. Mais ceux-ci n'ont guère corrigé la fâcheuse impression du premier jour, parce que ce sont surtout les journaux de New York que les paquebots apportent en France, et que la grande cité de l'Atlantique, mécontente du jugement de Pâris, boudait l'exposition; quand j'étais à New York, on m'en parlait peu et, quand on le faisait, ce n'était pas toujours en termes louangeurs.

Ajoutez à cela que les exposants français se sont heurtés à des mœurs et à des habitudes administratives qui les ont étonnés; plusieurs ont eu maille à partir avec la douane ou avec le contrôle des ventes; ils avaient été mis hors concours par notre commissaire général, qui ne pouvait pas accepter la composition du jury telle que l'avait imaginée la corporation, et, mécontents de n'avoir obtenu ni honneur ni profit, ils ont pour la plupart rapporté un sentiment peu satisfait de Chicago.

Il faut pourtant se dégager des préjugés et des préoccupations personnelles. Tous ceux qui ont vu, surtout pendant les trois derniers mois, l'exposition sans se hâter de la juger par un jour de pluie ou sans avoir d'autre intérêt que celui de la vérité, sont unanimes à déclarer qu'elle était très remarquable et qu'elle présentait dans son ensemble un spectacle grandiose.

Je veux vous en faire juges, autant qu'il est possible de l'être à distance. Ma conférence n'est qu'une introduction aux études spéciales que feront mes collègues; elle a pour objet de vous donner une première idée, idée générale et sommaire, de ce qu'était cette exposition. Je vous invite à y faire une promenade, en vous épargnant le trajet des 5500^{km} de mer et des 1500^{km} de chemin de fer qui nous séparent de « Jackson park ». Nous ferons cette promenade à l'aide de photographies ou de dessins pris sur les lieux et nous la ferons sans fatigue : ce qui n'était pas le fait à Chicago, où la grande étendue lassait même de bons marcheurs.

Voici le plan (*Pl. V*). L'espace compris dans l'enceinte mesure 633 acres [1], c'est-à-dire 256 hectares; l'exposition

[1] Un guide semi-officiel publié par la librairie Rand Mac Nally et Co, de Chicago, donnait même une superficie de 1037 acres.

de 1889 à Paris occupait 95 hectares. Le plan se compose de deux parties: l'exposition même, bordée à l'est par le lac Michigan, longue de $2^{km},500$ du nord au sud, et Midway plaisance, grande avenue orientée de l'ouest à l'est; la longueur depuis l'extrémité occidentale de cette avenue jusqu'au bord du lac était d'un peu plus de $2^{km},500$.

Entrons par cette porte occidentale de Midway plaisance. Voici tout d'abord la Grande roue, « Ferris wheel », que les Américains vantaient comme une merveille plus étonnante que la tour Eiffel et qu'on apercevait à plusieurs kilomètres de distance, le jour, comme une immense toile d'araignée suspendue dans les airs et, la nuit, comme un cercle de feu servant de phare. Quelque légère que fût la structure, l'axe avait 33 pouces de diamètre, $13^{m},50$ de long et pesait 56 tonnes; il avait été forgé à l'usine de Bethlehem dont le puissant marteau-pilon était un des ornements de la galerie des transports. Les 36 caisses suspendues à cette roue tournante pouvaient contenir en tout 1440 personnes qui, au moment où le mouvement rotatif les amenait au sommet, jouissaient d'une vue très étendue sur la ville, la campagne, le lac et l'exposition.

C'est cette vue d'ensemble de l'exposition que représente la photographie projetée sur le tableau (*fig.* 1). La longue avenue que vous voyez garnie de promeneurs, — et il y en avait à certaines heures, dans les derniers mois, beaucoup plus que ne vous en représente la photographie, — était toute bordée d'établissements de plaisir, cafés-concerts, restaurants, saltimbanques, montreurs de fauves, reproduction d'un village allemand au temps passé, d'un quartier de Vienne au dix-huitième siècle, d'un village irlandais, d'un village javanais, d'une rue du Caire, d'une verrerie en activité, d'une exhibition des « quarante-cinq plus belles femmes du monde », etc. Il y avait beaucoup de réminiscences des expositions antérieures: le vieux Vienne rappelait la Bastille de l'exposition de Paris. L'ensemble avait cependant son originalité propre, à laquelle s'ajoutait celle de la foule, venue de tous les coins de l'Amérique, toujours calme, quoique curieuse et empressée. Cette partie de l'exposition était vraiment digne du nom de « World's fair », Foire universelle, qu'on donnait communément à l'exposition.

La cité de Chicago ne présentait pas le premier exemple de ces amusements propres à attirer le peuple à ces solennités du travail; mais elle a largement imité ceux qui l'avaient donné. Dans un pays où l'immigration a amené des millions d'Irlandais

Fig. 1.

Vue générale de l'exposition.

et d'Allemands, on n'était pas surpris qu'une grande dépense eût été faite, soit par eux, soit pour eux, afin de leur rappeler les doux souvenirs de leur pays d'origine et qu'on eût ainsi reproduit, à grands frais, un village irlandais, une ville et un village allemands. Il ne faut pas oublier que le recensement de 1890 a compté à Chicago près de 400000 Allemands sur une population totale de 1 100000 âmes.

A l'extrémité de l'avenue, vous apercevez deux ponts; ce sont des chemins de fer. Le second servait à l' « Elevated intra-

mural railroad » ; ce chemin de fer intérieur, suspendu sur piliers à la hauteur d'un premier étage, faisait le tour de l'exposition et était à deux voies sur lesquelles circulaient sans cesse, dans les deux sens, des trains mus par l'électricité. Les générateurs de cette électricité étaient une des curiosités de la « World's fair ».

A l'entrée de l'exposition, faisant face à Midway plaisance, était le « Woman's building », le palais de la Femme, qui occupait une place d'honneur. Quand on connaît les mœurs américaines, on comprend qu'une telle place lui eût été assignée. C'était une déclaration solennelle des droits d'un sexe qui, aux États-Unis, ne le cède pas à l'autre en instruction et qui se croit apte à exercer en beaucoup de cas les mêmes fonctions sociales que lui. La corporation avait institué un « Board of ladies managers », Bureau des dames directrices, qui était présidé par Mme Potter Palmer, femme d'une haute distinction, descendant par son père d'une famille française, et qui était chargé d'organiser les expositions, congrès et conférences faits par les femmes. C'est une femme, Mlle Sophie Hayden, diplômée de l'École d'architecture de l'Institut de technologie du Massachusetts, qui avait été l'architecte du palais; ce sont des femmes qui avaient décoré ce palais de sculptures et de peintures; ce sont des travaux de femmes qu'il abritait. Ce palais, avec son portique central et ses deux ailes couronnées de terrasses, produisait un heureux effet. En regardant la façade ou l'intérieur de la grande salle centrale, on voyait au premier coup d'œil où l'artiste avait cherché son inspiration : c'était dans la Renaissance italienne. Mais elle avait su choisir de bons modèles classiques et elle les avait ingénieusement adaptés.

On retrouvait dans presque tous les bâtiments le style classique sous les formes diverses de l'antiquité, grecque ou romaine, et de la Renaissance italienne, française ou espagnole ; on se serait cru volontiers dans une école des beaux-arts ou devant un concours pour le prix de Rome. Ce n'était pas le fait du hasard. Les directeurs auraient pu demander aux architectes de faire du nouveau dont le résultat aurait dépendu du talent et du bonheur de chaque artiste; mais il n'y aurait pas eu un grand enseignement. Ils ont préféré

adopter uniformément le style classique et la couleur blanche qui lui convient, comme ils avaient fixé la hauteur des entablements, et chaque architecte a dû conformer son plan particulier à cette loi générale. Les directeurs avaient pensé qu'il y avait là une occasion unique de montrer les modèles de l'art au peuple américain, surtout aux gens du centre et de l'ouest parmi lesquels une infime minorité connaissait l'Europe et ses monuments, de mettre sous ses yeux une grande leçon de choses qui l'initierait aux formes les plus incontestées du beau et contribuerait à épurer son goût.

Dans les campagnes américaines, où presque toutes les constructions sont en bois, on voit des cottages coquets et très confortables à l'intérieur, mais on ne voit guère de spécimens d'un style classique, quoique dans le sud on aime les péristyles et les colonnades. Dans les villes, les maisons ne présentent d'ordinaire qu'une plate façade en briques, quelquefois en grès rouge ou en pierre grise; dans certaines rues bordées d'hôtels, l'originalité de l'architecte s'accuse davantage, mais le roman fournit la plupart des motifs d'une décoration trop souvent massive. Ce n'est pas qu'on ne remarque parfois des combinaisons heureuses et surtout des tentatives hardies dans les façades capricieuses de ces hôtels. Quand on examine attentivement la « Commonwealth avenue » ou « Beacon street » à Boston, quelques parties de Philadelphie ou de New York, la « Summit avenue » de Saint-Paul, certaine rue particulière à Saint-Louis, plusieurs belles allées ombragées d'arbres de Washington; ou des monuments comme deux églises de New York, comme « Trinity church » à Boston, ou l'intérieur de « Drexel institute » à Philadelphie, on se convainc que de ces efforts il se dégagera un style et que, dans un temps qui n'est pas éloigné, les Américains, qui ont fait depuis l'exposition de 1876 de sensibles progrès dans tous les arts du dessin, posséderont une architecture américaine. Mais ce ne sera pas l'architecture classique et ils ont aujourd'hui beaucoup à gagner en étudiant les modèles de cet art que caractérisent la pureté et la simplicité des lignes et qui a été depuis plus de deux mille ans, avec l'art ogival, l'inspirateur de l'architecture européenne.

La « White city », Cité blanche, ainsi qu'on a surnommé l'exposition à cause de sa couleur qui tranchait sur la teinte brique de la ville, leur en a mis devant les yeux un grand nombre, d'un dessin varié et de proportions très amples. La répétition des mêmes lignes, arcades ou colonnes sur une grande surface augmente l'effet en prolongeant la perspective; sous ce rapport, les vastes bâtiments du « World's fair » donnaient entière satisfaction.

Leurs blanches murailles se détachaient bien sur la verdure des pelouses et les eaux habilement ménagées qui les encadraient leur prêtaient une certaine majesté. Au fond, le lac Michigan dont la nappe bleue s'étendait jusqu'à l'horizon et que sillonnait çà et là la fumée d'un bateau à vapeur; de tous côtés, des bassins et des canaux que traversaient des ponts élégants.

La photographie du « Lagoon », — c'est le grand bassin qui avait 720^{m} de longueur, — avec son île boisée, deux de ses ponts et les palais qui le bordent, vous montrera mieux qu'une description l'effet produit par cet ensemble (*fig.* 2). Des gondoles vénitiennes et de petits bateaux électriques, promenant les visiteurs, contribuaient, avec les oiseaux aquatiques, à animer le paysage. On regrettait seulement que les ponts ne fussent pas plus nombreux. La visite étant fatigante à cause de la grandeur même de l'exposition, les longs détours qu'il fallait faire pour se rendre de tel bâtiment à tel autre, la rendaient plus fatigante encore.

Nous n'avons pas ici cet inconvénient et nous pouvons reprendre tranquillement notre promenade. Au delà du Palais de la Femme, un des bâtiments qui attirait le plus les regards était le « Fisheries building », bâtiment des pêcheries, un de ceux assurément qui font le plus honneur à leur auteur par l'originalité de la conception. Le modèle n'était cette fois pas le classique, mais le roman du sud de la France ou du nord de l'Espagne. Sa tour centrale, ses clochetons, ses longues rangées d'arcades, les deux pavillons qui le flanquaient et dont l'un contenait un bel aquarium, les motifs de l'ornementation empruntés au monde aquatique, tout avait son cachet. La photographie que je vous montre n'en donne qu'une idée incomplète (*fig.* 3). Une bizarrerie à noter : l'ornementation des

colonnes s'arrêtait à peu près à la hauteur de la balustrade, la

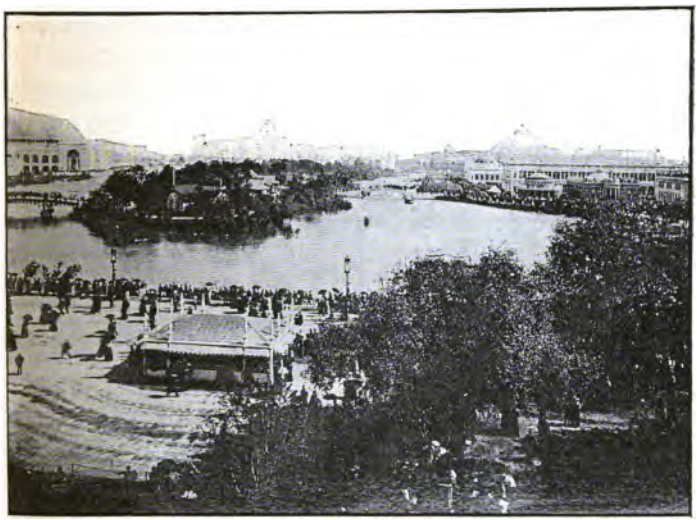


Fig. 2. — Le grand lac (*Lagoon*).

Fig. 3. — Palais des pêcheries (*Fisheries building*).

partie inférieure restant nue; on m'a raconté que l'architecte,

pour épargner le temps, avait ainsi fait son dessin et que l'entrepreneur, ayant traité d'après le dessin, n'avait donné juste que le travail dont il était convenu pour le prix déterminé. Je ne garantis pas d'ailleurs l'authenticité de l'anecdote.

Le Palais des beaux-arts, « Art galleries », qui s'élevait majestueusement devant un bassin, « North pond », nous reporte à la belle époque de l'art grec (*fig.* 4). Les colonnes sont d'ordre ionique, calquées sur celles de l'Érechtéon. Un portique de quatre colonnes, placées entre deux piliers et sup-

Fig. 4.

Palais des beaux-arts (*Art galleries*).

portant le fronton, forme avant-corps et sert d'entrée principale; au milieu des marches se dresse la statue de Minerve. De chaque côté du portique, une rangée de douze colonnes surmontées d'un attique. Le dessin est correct et l'agencement bien approprié; on comprend que ce bâtiment abrite des chefs-d'œuvre de peinture et de sculpture. Je signale ce mérite parce qu'il n'était pas celui de tous les bâtiments, dont la forme extérieure n'était pas toujours en harmonie avec la destination.

La blancheur des teintes simulait la pierre et le marbre. C'était en effet en pierre et en marbre que la Grèce bâtissait pour honorer ses dieux et immortaliser ses œuvres. Mais les temples de Chicago n'étaient faits que pour durer cinq mois et ils se seraient effondrés sous les neiges d'hiver si le serrurier ne les avait pas démontés auparavant. Les colonnes étaient

de staff à la surface recouvrant une mince carcasse de fer. Les Américains, qui dressent des maisons d'acier de quatorze et même de vingt étages habillées de revêtements en terre cuite, en briques et en tablettes de marbre, sont de très habiles constructeurs en ce genre; ils avaient déployé toute leur ingéniosité à « Jackson park ». Néanmoins, le contraste entre la structure intérieure, prosaïque et toute moderne, et l'apparence antique du monument dont on pouvait dire qu'il n'avait que la peau sur les os produisait, quand on y réfléchissait, un singulier effet sur l'esprit de l'observateur. Vous trouverez d'ailleurs dans un ouvrage en cours de publication, dont j'ai en ce moment sous la main les deux premiers volumes, la *Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago en* 1893 (1), par MM. Grille et Falconnet, tous les dessins relatifs aux bâtiments en fer de l'exposition et vous pourrez juger par vous-mêmes de l'intra-structure et de la couverte de ces bâtiments, dont un de mes collègues vous expliquera la construction.

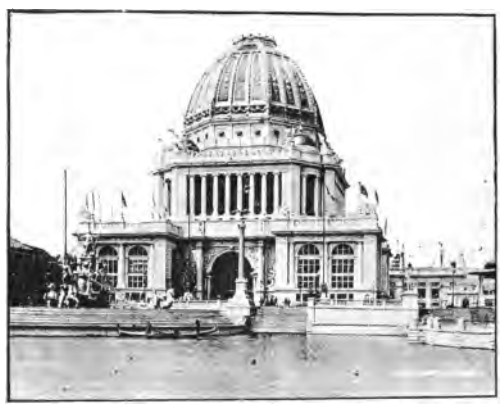
Hâtons-nous et allons droit au Palais de l'administration : il y a plus d'un kilomètre de route. Un mot cependant du palais du Gouvernement, « Government building », devant lequel nous passons et qui faisait face au Palais des pêcheries. C'était un grand bâtiment rectangulaire (96^m sur 126^m), surmonté d'un dôme qui mesurait du sol au sommet de la lanterne $82^m,50$ et formant, avec les dômes des palais de l'Illinois et de l'administration, les trois points culminants de la perspective dans le « Columbian ground ». Il contenait de fort intéressantes expositions devant lesquelles je regrette de n'avoir pas le temps de vous arrêter : celle du Ministère de la Guerre, celle du Bureau de l'éducation et celle du Service topographique et géologique qui, entre autres curiosités, avait représenté de grandeur naturelle la rencontre de Greeley et de Lockwood au milieu d'un paysage de glaces polaires au moment où ce dernier revenait du point le plus voisin du pôle que les hommes aient atteint jusqu'ici; celle du « Smithsonian institute » qui avait envoyé

(1) Un volume de texte et un volume de planches, édités par E. Bernard et Cie; 1894.

une grande partie de sa belle collection de types indiens et de ses reproductions de pueblos; celle du « Patent office », administration des brevets d'invention dont les modèles me rappelaient le musée du Conservatoire des Arts et Métiers; celles du Ministère du Trésor, du Département de l'Intérieur, y compris le « General land office », etc.

Le Palais de l'administration « Administration building », que les Américains proclamaient « the gem and crown of the

Fig. 5.



Palais de l'administration (*Administration building*).

whole Exposition », la perle fine et la couronne de toute l'exposition, est dû à M. Hunt, architecte de New York (*fig.* 5). C'est un dôme, rien qu'un dôme, de forme octogone, ayant en hauteur environ 83^{m}, un peu plus que le Panthéon à Paris, et rappelant les Invalides par son ornementation, terminé brusquement au sommet par une couronne sans lanterne. Il est flanqué de quatre pavillons d'angle qui servent de base et dont les deux piliers sont surmontés d'autant de groupes de statues. Le second étage est formé de colonnades d'ordre ionique disposées sur quatre faces avec des « loggias » en pan coupé aux quatre angles; il porte aussi des groupes de statues d'un mouvement très animé, mais d'un modèle qui m'a semblé un

peu négligé. Ce bâtiment était tout pour la montre; quand on pénétrait dans l'intérieur par une de ses quatre portes, on ne voyait que le vide, une grande voûte dont la clé était à 57^{m} du sol et que recouvrait une peinture murale peu visible d'en bas, avec une galerie, le tout ressemblant à la voûte du Panthéon. Dans une église, la hauteur représente en quelque sorte l'aspiration de l'homme vers la grandeur infinie de Dieu; dans le Palais de l'administration, elle ne répondait à rien et ne servait à rien; les bureaux étaient relégués dans les pavillons d'angle. « Ce dôme existe pour lui-même, disait un guide semi-officiel, inspiré évidemment par l'architecte même du monument; il est fait pour abriter les foules à mesure qu'elles arrivent et pour annoncer par ses lignes élancées l'existence et la splendeur de l'exposition. Le dôme est le monument même, ce qu'on ne saurait dire dans le même sens d'aucun autre grand dôme construit jusqu'ici. Il est, je pense, un des plus beaux dômes qui aient jamais été construits. Quand nous nous rappelons qu'il est la pièce capitale de notre exposition, tandis qu'à Paris la pièce capitale était la tour Eiffel, une merveille seulement de la science, nous comprenons de quel esprit véritablement artistique se sont inspirés nos architectes dans leur œuvre (1) ».

Derrière ce palais, un grand bâtiment, le « Terminal station » ou « Central railroad depot » ne servait à rien non plus; mais c'est parce que la foule qu'on avait pensé devoir affluer en ce point par chemin de fer arrivait par d'autres entrées.

Le Palais de l'administration occupait la fond de la cour d'honneur, « Court of honor », qui était en quelque sorte le morceau capital de l'œuvre décorative de la « World's fair ». Je vous demande la permission de vous citer encore un passage du guide *A week at the Fair* pour vous faire bien comprendre le sentiment des Américains, qui ne se piquent pas de modestie, surtout à Chicago, « the city of wind ».

« La manière dont nos architectes ont ouvert devant les deux entrées de la cour d'honneur leurs perspectives les plus

---

(1) *A week at the Fair*, p. 76.

splendides et plus harmonieuses est certainement un fait qui atteste leur supériorité sur les architectes de toutes les expositions antérieures. Cette partie semble avoir été construite pour réjouir la vue d'un potentat ami du beau, ayant le pouvoir d'employer tous les talents à une seule œuvre. Je ne crains pas de dire que rien de semblable n'a été vu depuis le temps où la Rome impériale était debout, intacte, avec ses palais de marbre, ses terrasses, ses ponts, ses temples, sous le ciel d'Italie qui n'est pas plus bleu que le nôtre. Vous vous imaginerez que ce sont les Romains d'Auguste qui ont construit quelque part une Venise et que vous vivez il y a quelque deux mille ans pour contempler cette merveille » (1).

Je vais vous en montrer la photographie (*fig.* 6). C'est là, en effet, que le dessin général et la perspective avaient cette unité qui ne pouvait se trouver dans l'ensemble d'une exposition disséminée sur un aussi vaste terrain; c'est là aussi que l'architecture avait le plus de magnificence. Devant le Palais de l'administration, qui ne figure pas sur cette photographie, était une large esplanade se terminant à la Fontaine colombienne et au Grand bassin que vous voyez sur la photographie (2). Ce bassin, long de 420^{m} et large de 90^{m}, encadré d'une balustrade de pierre, terminé à une de ses extrémités par la Fontaine colombienne et à l'autre par le grand portique, séparé du canal transversal par deux ponts élégants, bordé au nord par les arcades du Palais des manufactures et au sud par la façade du Palais de l'agriculture, séparé de ces bâtiments par des tapis de gazon qui tranchaient sur la blancheur des murailles, les lignes d'arête se détachant nettement sur le ciel quand le soleil brillait, le lac formant le fond du décor avec ses eaux qui miroitaient entre les colonnes du grand portique, tout cela présentait un ensemble véritable-

---

(1) *A week at the Fair*, p. 74.

(2) La photographie du Palais de l'administration (*fig.* 5) laisse voir en raccourci l'esplanade, à gauche la Fontaine colombienne et, au premier plan, le commencement du Grand bassin. La photographie de la Cour d'honneur (*fig.* 6) montre au premier plan un des trois mâts de l'esplanade.

ment artistique et imposant; on pouvait, comme dit le guide, se croire transporté dans une cité telle qu'auraient pu l'imaginer les artistes du siècle des Antonins. L'effet était peut-être plus merveilleux encore le soir, quand des cordons de lumière électrique (on avait prodigué l'éclairage par l'électricité) des-

Fig. 6.

Grand bassin et Palais des manufactures
(*Great basin* et *Manufactures and liberal arts building*).

sinaient les grands traits de l'architecture et se reflétaient dans le bassin.

En regardant de près, il y avait à louer et quelquefois à critiquer. On voyait des statues trop sommairement traitées, particulièrement celles qui formaient galerie au haut du grand portique; on restait plus étonné que satisfait devant les formes scrupuleusement archaïques de la statue colossale de la République; on admirait, au contraire, l'allure franche et naturelle de la plupart des animaux, ours, bœufs, chevaux, etc., qui bordaient les canaux. La Fontaine colombienne était une des pièces maîtresses de cette décoration; le jeune architecte

qui l'a exécutée a beaucoup travaillé à Paris et s'est inspiré de la fontaine du Champ de Mars qui représente le vaisseau symbolique de la ville de Paris, et, paraît-il, de la fontaine de la fédération, à Toulon. Quoique le guide américain proclame que la Fontaine colombienne est la plus belle et la plus artistique création de toute l'exposition et qu'elle est infiniment supérieure à la fontaine de Toulon, — comparaison que je ne puis pas faire

Fig. 7.

Fontaine colombienne (*Columbian fountain*).

moi-même, n'ayant pas encore vu ce monument, — je regrette de trouver la composition de M. Mac Mounies, malgré le talent qu'elle dénote et la valeur de chaque morceau pris à part, un peu grêle et même gauche avec ses rames qui ne rament pas, et son personnage principal qui remplit mal son fauteuil. Vous pouvez vous faire une idée, imparfaite il est vrai, de cette œuvre par la photographie que je mets sous vos yeux (*fig.* 7).

Le grand portique du fond, ouvrant entre ses colonnes, comme je l'ai dit, une perspective sur le lac, était d'une inspiration vraiment classique et harmonieusement combinée en vue de l'effet général, avec sa porte triomphale au milieu, que surmontait le quadrige de Colomb, ses quatre rangées de belles

colonnes corinthiennes, sa galerie de statues représentant les États et Territoires, quoique ces statues fussent monotones, et les bâtiments qui flanquaient les ailes.

Un des côtés du Grand bassin était bordé par le Palais de l'agriculture. Je ne veux pas vous fatiguer par la description de chaque bâtiment; j'attirerai seulement un instant votre attention sur les deux groupes de femmes qui représentaient

Fig. 8.

les parties du monde portant la sphère (*fig.* 8). Il ne vous est pas difficile, à vous, habitants de Paris, de dire où est le modèle; vous l'avez vu à l'extrémité du jardin du Luxembourg, et vous connaissez l'auteur, qui est Carpeaux. Le modèle est assurément digne d'être imité, bien que l'astronome Le Verrier reprochât à l'artiste d'avoir fait tourner la Terre à l'envers, en face de l'Observatoire! J'aurais voulu que l'artiste américain fît savoir à ses concitoyens, qui sans doute l'ignoraient, où il avait pris son inspiration.

Je ne dirai qu'un mot des bâtiments qui bordaient au nord et au sud l'esplanade de la Cour d'honneur: au nord, le Palais de l'électricité dont la statue de Franklin gardait l'entrée, palais tout étincelant de lumière le soir, et le Palais des mines,

dont les membrures métalliques étaient à articulation libre, disposition ingénieuse imaginée, dit-on, par un Français et appliquée en grand pour la première fois à Chicago; au sud, le Palais des machines, dont la façade, empruntée à la Renaissance espagnole, annonçait plutôt une église qu'une usine.

En réalité, comme la plupart des autres palais, ce dernier consistait en une immense serre en fer vitrée dont les quatre faces étaient masquées extérieurement par un décor badigeonné en blanc. Si je laisse aux conférenciers qui me succéderont le soin de vous dire ce qu'il renfermait, je vous signalerai au moins le sous-sol dans lequel se trouvaient alignés, sur toute la longueur du bâtiment, 37 générateurs chauffés au pétrole; pas un grain de charbon ni de poussière; le pétrole arrivait directement de la mine par une tuyauterie souterraine; la propreté de cette longue galerie faisait plaisir à voir.

Le Palais des manufactures « Manufactures and liberal Arts building », était le plus grand de l'Exposition. Il mesurait 515^m sur 240^m, et avait une superficie de 12 hectares $\frac{1}{2}$. C'est un des petits côtés du rectangle que vous avez vu sur la photographie du Grand bassin. Le revêtement extérieur était simple : quatre portiques aux angles, quatre portes monumentales au milieu, la muraille ayant la hauteur réglementaire de $18^m,29$, toute percée d'arcades, 60 sur chacun des grands côtés et 22 sur les petits; ces arcades, coupées à mi-hauteur par un plancher, formaient tout autour du bâtiment une galerie extérieure, long promenoir garni de tables de café et de restaurants, et produisaient un grand effet architectural par leur répétition; l'impression me remémorait les aqueducs de la campagne romaine; mais le brouhaha d'une exposition remplaçait désavantageusement la solitude de la campagne romaine et il manquait au tableau les teintes du soleil couchant sur les monts Albains et la majesté des ruines et la patine du temps.

La cage que ce classique parallélogramme enveloppait était la reproduction de la galerie des machines du Champ de Mars, avec le même système de fermes, toutefois dans des dimensions un peu plus grandes. Chicago avait voulu avoir le droit de faire dire à ses panégyristes : « C'est le plus grand bâtiment du monde; c'est la plus vaste construction couverte d'un toit

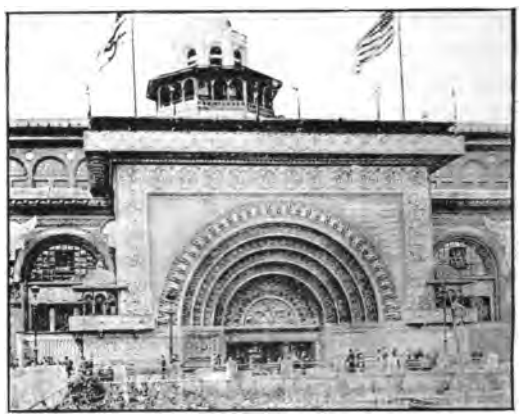
qui ait jamais été faite, c'est la merveille architecturale du monde ». Comme preuve, ces panégyristes ajoutaient qu'on avait employé pour la construction 17 millions de pieds cubes de bois, 12 millions de livres d'acier, 2 millions de livres de fer, qu'on avait dépensé 1700000 dollars; que le palais était trois fois grand comme Saint-Pierre de Rome, quatre fois comme le Colisée, qu'on pourrait y dresser la colonne Vendôme de Paris sur un piédestal de 74 pieds sans toucher le faîte, y coucher la tour Eiffel, y faire manœuvrer toute l'armée russe ou — comparaison tout américaine — y installer six jeux de balle, « base ball ». En y comprenant le couronnement de la galerie, la construction avait une élévation totale de 74^{m}.

A l'intérieur, sur les quatre côtés, régnait un étage qui avait l'inconvénient d'obscurcir par son plancher les galeries du rez-de-chaussée et d'y nécessiter en plein jour l'emploi de la lumière électrique. C'est au rez-de-chaussée qu'étaient les expositions qui attiraient le plus la foule; chaque État y avait sa place et chacun, suivant son goût et ses ressources, avait construit en quelque sorte son palais particulier dans le palais commun et donné à l'arrangement de ses produits son cachet national. Je voudrais pouvoir m'arrêter devant l'exposition française qui se distinguait surtout par la délicatesse du goût, devant l'exposition allemande qui était riche, ample et remarquable, devant l'exposition américaine qui m'a paru, après les visites que j'avais faites dans les manufactures mêmes, ne donner qu'une idée imparfaite de la puissance mécanique et de l'importance de la production du peuple américain, devant les expositions de l'éducation qui occupaient une grande partie de la galerie supérieure. Mais le temps nous presse et il faut continuer notre route en nous contentant de regarder les dehors.

Sortons donc du plus grand bâtiment de ce monde et passons devant le « Lagoon » pour gagner le « Transportation building », Palais des transports. Le style tranche sur ceux que nous avons déjà vus; le blanc et le classique ont cédé ici la place à la décoration polychrome et au genre oriental, mogol ou bysantin. J'avoue que j'ai été surpris du changement sans en être pleinement satisfait. Cependant ce bâtiment

attestait un effort d'originalité dont il est juste de savoir gré à l'artiste. Pour que vous fassiez vous-mêmes la part de l'éloge et de la critique, je vous présente la porte principale, « Golden doorway » (*fig.* 9). L'entrée même est écrasée sous la série des arcs concentriques qui l'encadrent; mais les arabesques dorées et argentées de ces arcs sont riches, les lanternes qui les flanquent sont d'un bon décor et les bas-

Fig. 9.



Porte d'or du Palais des transports
(*Transportation building-Golden doorway*).

reliefs représentant les moyens de transport d'autrefois et d'aujourd'hui, dont vous ne pouvez pas bien apercevoir le détail, sont bien appropriés.

Il nous faut maintenant traverser toute l'exposition de l'ouest à l'est pour nous rendre dans une île au bord du lac et jeter un coup d'œil sur la reproduction du couvent de la Rabida (*fig.* 10). Il n'y a là aucun mérite architectural, mais un intéressant souvenir historique : c'est le couvent où Christophe Colomb, pauvre et découragé, rencontra le prieur qui lui procura la protection de la reine Isabelle. Près de ce couvent, qui contenait de précieuses reliques, étaient amarrés trois bâtiments, reproduction aussi fidèle que possible de la petite flotte de Colomb. Les Scandinaves qui ont

foulé la terre d'Amérique, le « Vinland », avant les Espagnols, n'avaient pas voulu laisser oublier leurs titres, — d'autant qu'il y a aujourd'hui beaucoup de colons scandinaves aux États-Unis, — et ils avaient amené des côtes de Norvège une barque semblable à celle des pirates normands du IXe siècle. Ce n'étaient pas les seules curiosités archéologiques ou ethnographiques de l'exposition; mais je ne vous conduirai pas, pour

Fig. 10.

Couvent de la Rabida.

les apprécier, devant les cabanes ou tentes des Indiens, leurs armes et leurs outils, et je ne vous dirai rien des monuments et souvenirs que renfermait l'exposition, très bien organisée, de l'anthropologie.

Je n'ai pas le temps non plus de vous promener dans la grande avenue où chaque État et Territoire des États-Unis avait élevé son palais particulier dont il avait fait un musée de ses produits ou simplement un salon de conversation. Chaque État, rivalisant avec ses frères et se piquant d'amour-propre, avait tenu à se distinguer par l'originalité ou le luxe de la construction. On remarquait surtout le Palais de l'Illinois, qui, étant chez lui (Chicago est une ville de l'Illinois), avait voulu construire un bâtiment plus grand que tous les autres et l'avait surmonté d'un dôme un peu étriqué et trop jaune, mais égalant

à peu près en hauteur ceux du gouvernement et de l'administration, le Palais de l'État de New York, somptueux édifice qui rappelait Versailles par certains traits et dans la décoration duquel il m'a semblé reconnaître une touche française, le Palais du Massachusetts, heureuse imitation de la maison qu'a habitée John Hankock, le Palais du Vermont, petit bijou pompéien, et, non loin de là, la maison de Washington à Mount Vernon, exactement reproduite; à l'autre extrémité de l'avenue, le Palais de la Californie, vaste bâtiment emprunté à l'architecture des Jésuites, le rustique Palais de bois du Washington.

Au bout de cette avenue, près du lac, étaient les pavillons des commissariats de plusieurs pays étrangers, celui de l'Empire allemand, bâti dans le style d'un hôtel gothique, celui de la France, dont une salle, imitée d'une galerie de Versailles et contenant des reliques de Lafayette et de Washington, attirait chaque jour une foule nombreuse, celui du Canada que signalait de loin sa tour ronde. Les Américains admiraient dans ce dernier une belle collection de bois indigènes; je remarquais en outre, que ce pavillon et celui de la France formaient les deux extrémités d'une même ligne bordant le lac, et ce rapprochement réveillait en moi des souvenirs qui me sont chers. Le pavillon de la Suède, ayant l'aspect d'un vieil édifice scandinave, avait été construit dans le pays même, démonté, puis remonté à Jackson park, il se trouvait en arrière, à quelque distance du lac.

On conseillait de passer une semaine à Chicago pour visiter l'exposition, *A week at the Fair*. Nous venons d'y passer à peine une heure et demie. Aussi ne vous en ai-je montré que les dehors et je suis loin de vous les avoir fait tous voir. Nous n'avons pas eu besoin de nous reposer dans le bâtiment du « Public comfort », où l'on trouvait des chaises et des fauteuils à bascule dans lesquels les Américains aiment à se balancer, des cabinets de toilette et tous les renseignements qu'un visiteur novice pouvait désirer, ni de nous désaltérer aux nombreuses buvettes payantes ou aux 12000 robinets gratuits d'eau stérilisée par le procédé Pasteur, ainsi que le disait l'affiche; nous n'avons pas joui de l'éclairage électrique que produisaient 12000 chevaux-vapeur, ni vu tous les bassins, la forêt de

moulins à vent qui occupait l'extrémité méridionale de l'exposition, la grande serre du Palais de l'horticulture et son rocher central tout tapissé de plantes exotiques. Aux collègues qui parleront après moi, il appartiendra de vous faire connaître, chacun dans sa spécialité, ce que contenait l'exposition de Chicago. Ma tâche se borne à vous donner une idée de l'ensemble.

Un mot encore avant de sortir de l'enceinte de la « Grande foire colombienne ». Je l'ai étudiée dans ses diverses parties, en vue de connaître, pour ma propre instruction, avec les pièces justificatives sous les yeux, la diversité des richesses agricoles et industrielles des États-Unis et l'état de civilisation économique de la grande république américaine. J'y ai trouvé une masse énorme de renseignements. C'était un immense musée où, sur un espace de $2^{kmq}\frac{1}{2}$, avaient été rassemblés les produits en tout genre d'une contrée de 7 millions $\frac{1}{2}$ de kilomètres carrés et les monuments de l'histoire et de la vie sociale d'un peuple de 66 millions d'âmes; agriculture, mines, manufactures, outillage, transports, arts, archéologie, éducation, mœurs et coutumes, passé et présent, s'y étaient donné rendez-vous; ce n'étaient pas seulement des particuliers, mais c'était chaque État de la république qui avait fait effort pour se parer de tous ses avantages; les brochures descriptives, toujours très laudatives, abondaient; les journaux locaux ou spéciaux étaient sur les tables dans les palais des États; les agents donnaient volontiers des éclaircissements, surtout ceux des États nouveaux et des Territoires qui faisaient de la réclame pour séduire des immigrants.

Sans doute, l'exposition américaine n'était pas complète. Il s'était produit des dissidences, il y avait eu des amours-propres froissés et l'on signalait certaines abstentions notoires et regrettées. Sans doute aussi, la visite était pénible parce que l'espace était extrêmement vaste et que certains objets, exposés dans plusieurs bâtiments, se trouvaient en double et même en triple exemplaire. Les spécialistes lui ont reproché de ne pas avoir manifesté, même pour l'électricité et les machines où les Américains excellent, d'inventions faisant époque. Ne peut-on pas leur répondre qu'il en est ainsi aujourd'hui de la plupart des expositions universelles parce

qu'elles se renouvellent beaucoup trop souvent? Ces grandes solennités sont elles-mêmes une invention très louable de notre civilisation moderne ; mais on en abuse. J'ai eu plus d'une fois l'occasion de dire qu'on leur enlève ainsi une partie de leur intérêt sérieux et qu'on est amené par là à les faire dégénérer en foire pour attirer le public. Il n'est pas étonnant qu'entre 1889 et 1893 il ne se soit pas produit de révolution dans l'industrie ; toutefois les perfectionnements de détail, les procédés ingénieux et les résultats dignes d'attention abondaient dans l'exposition d'un peuple qui est essentiellement inventeur.

Sortons maintenant ; vous rentrerez dimanche prochain dans l'exposition avec un autre guide. Mais, avant de nous séparer, donnons un coup d'œil à la cité qui a osé tenter cette gigantesque entreprise.

Chicago est née au bord d'une petite rivière qui se jette à l'extrémité sud-ouest du lac Michigan, et dont le lit est tout voisin d'un affluent du Mississipi. Les Indiens transportaient à dos leurs canots d'une rivière à l'autre, établissant ainsi une voie commerciale entre les grands lacs et le grand fleuve : c'était le Portage de Chicago. Des Français l'avaient découvert au XVIIe siècle. Cependant, en 1823, il n'y avait encore qu'un fortin de bois à l'embouchure de cette rivière, et l'officier qui le commandait écrivait au secrétaire d'État de la guerre à Washington pour l'engager à « abandonner un poste situé dans une contrée où il était impossible de faire vivre une population suffisante pour justifier la dépense. » En effet, en 1830, il n'y avait que 70 habitants groupés dans des cabanes autour de ce fort. En 1890, on a recensé 1 099000 habitants sur le territoire de la ville de Chicago et il y en avait plus d'un million et demi en 1893. Chicago, quoique placée à 1500^km de l'Océan, est aujourd'hui le premier port des États-Unis après New York ; 25 chemins de fer y convergent, de nombreux tramways mis en mouvement par des chevaux, par des câbles souterrains ou par l'électricité, rendent la circulation commode sur un territoire qui est un peu plus grand que le département de la Seine, mais qui est loin d'être encore partout couvert de maisons.

Pour vous faire juger de l'activité qui y règne, je mets sous

vos yeux la photographie d'une de ses rues à l'heure du marché (*fig.* 11). C'est « Haymarket square », au coin de Randolph et de Desplaines street. Vous y voyez le monument élevé par souscription à la police, en mémoire de l'émeute de mai 1886 où des agents ont été tués en cherchant à maintenir l'ordre et à la suite de laquelle quatre anarchistes ont été « lynchés » dans leur prison par la population. Je ne

Fig. 11.

Marché à Chicago (*Haymarket street*).

décrirai pas Chicago. Mes collègues vous parleront sans doute de quelques maisons colossales, comme le « Masonic temple », la plus haute du monde, je ne dis pas la plus gracieuse, ayant 21 étages auxquels on accède par 17 ascenseurs, ou comme l'« Auditorium », qui n'a que 13 élévateurs, mais qui contient un théâtre aménagé pour 4000 spectateurs assis et 4000 spectateurs debout, une salle à manger de 120 pieds de long et qu'éclairent 12000 lampes électriques. Ils vous montreront les « Stockyards » et les « Packing houses » où l'on tue plus de porcs en une année que n'en possède la France et où une seule maison, — la plus importante, il est vrai, — a abattu et débité en viande fraîche ou en conserves plus d'animaux, bœufs, moutons, cochons, en 1892, qu'il n'en est entré dans

les quatre abattoirs de Paris. Chicago est une cité qui est fière de sa merveilleuse croissance et qui a confiance dans son avenir. Elle a pris pour emblème une forte femme, campée résolument, un poing sur la hanche, l'équerre du maçon dans l'autre main, un aigle sur la tête en guise de cimier, et sur la poitrine cette devise : « I will ». « Je veux ». L'emblème exprime la réalité.

Elle est aujourd'hui la reine de l'ouest et, par son énergie entreprenante, elle est bien l'image du peuple américain, qui ne comptait que 3900000 âmes en 1790, qui, cent ans après, au recensement de 1890, en comptait 62 millions, qui atteint probablement aujourd'hui le chiffre de 67 millions, et dont la richesse a augmenté bien plus rapidement encore que la population. Un grand homme et un homme de bien, le maréchal Vauban, émettait l'opinion, au commencement du XVIIIe siècle, que trois cents ans plus tard l'Amérique pourrait avoir 51 millions d'habitants. Ses contemporains ne l'auraient pas cru, s'ils avaient pris la peine de le lire, et pourtant l'événement a dépassé de beaucoup la prévision. C'est à un sol vierge, abondamment pourvu de richesses naturelles en tout genre; c'est aussi et plus encore au génie du peuple qui a apporté sur cette terre le trésor intellectuel de la civilisation européenne et qui y a développé ses qualités d'action et cette volonté énergique dont Chicago est un exemple, que l'Amérique doit cette grande et rapide fortune dont elle a fait étalage en 1893 sur le terrain de Jackson park.

L'exposition a coûté très cher; mais, si elle n'a pas enrichi ses actionnaires, elle a pu du moins payer ses dettes et elle a atteint le but principal qu'elle visait. Ce but était :

1° De faire, pour l'éducation du peuple américain et à la face du monde entier convié à la fête, une démonstration tangible du merveilleux développement de la puissance de production des États-Unis, d'étonner par l'éclat et l'ampleur de la démonstration, et de mesurer en quelque sorte sa force économique avec celle des nations européennes, avec la pensée d'entrer en concurrence bientôt avec elles sur les marchés ouverts;

2° De mettre sous les yeux du peuple américain, qui, très in-

génieux en mécanique et très actif en affaires, n'a pas encore une éducation artistique suffisante malgré les progrès accomplis depuis peu dans l'enseignement de ses écoles, le spectacle de chefs-d'œuvre de l'art classique reproduits dans de très vastes proportions et présentés de manière à frapper son imagination et à former son goût;

3° Dans un intérêt local, de faire voir que la cité de Chicago est très grande et qu'elle a des raisons pour espérer devenir plus grande encore.

Ce triple but a été atteint. L'exposition de 1893 restera comme un des grands faits de l'histoire économique des États-Unis. Elle marquera comme étant le point de départ d'une étape nouvelle dans le développement de leur industrie, dans la direction de leur goût et peut-être — je le désire pour eux plus que je ne l'espère — dans leur régime commercial.

Si les Européens ne sont pas venus en aussi grand nombre qu'on l'avait espéré, il en est venu cependant beaucoup. Il est venu surtout un nombre très considérable d'Américains. Avant l'ouverture, les organisateurs se flattaient d'attirer plus de visiteurs qu'aucune exposition antérieure et de pouvoir employer à cet égard le superlatif qui chatouille agréablement une oreille américaine. L'exposition était sans conteste « the largest in the world »; ils avaient la confiance qu'elle était « the best and the most stupendous »; ils auraient voulu pouvoir ajouter qu'elle avait été « the most frequented », et les guides avaient déjà escompté cette espérance en publiant qu'il entrerait probablement 35 millions de personnes (1).

Le premier mois est resté bien en deçà de la moyenne nécessaire pour atteindre un tel total : il y a eu 1 million $\frac{1}{2}$ d'entrées, soit en moyenne environ 50000 par jour. C'est à cette époque que les journalistes européens ont rédigé leurs premiers articles. Or, non seulement le temps était mauvais alors et l'exposition inachevée, mais les fermiers étaient retenus par les travaux des champs, et ce n'est qu'après la moisson, en août, qu'ils ont été libres et que beaucoup se sont trouvés, par

(1) *A week at the Fair*, p. 29.

la vente de leur récolte, en possession de l'argent nécessaire pour le voyage. Le nombre des visiteurs a augmenté de mois en mois et octobre a fourni 7915000 entrées. Les chemins de fer ont organisé — un peu tardivement peut-être — des trains à prix réduits qui ont grossi la foule.

On raconte à ce sujet une anecdote piquante. Les hôteliers de Chicago, qui avaient fait d'énormes et coûteux préparatifs, auraient songé à intenter un procès en dommages-intérêts aux chemins de fer pour le préjudice que le haut prix des transports leur aurait causé en mettant, pendant les premiers mois, un obstacle aux voyages. De leur côté, les chemins de fer auraient riposté en déclarant qu'ils intenteraient un procès en dommages-intérêts aux hôteliers pour le préjudice que leurs prix exagérés avaient causé aux compagnies en détournant beaucoup de personnes de l'idée d'entreprendre le voyage. Je pense que les avocats consultés ont renvoyé les plaignants dos à dos et que l'affaire en est restée là.

Ce qui est certain, c'est que le nombre des visiteurs a fini, sans monter jusqu'à 35 millions, par être énorme : il y a eu 27359521 entrées, dont 21480141 payantes et 6059380 gratuites (1).

Le 9 octobre, jour consacré à la fête de Chicago, « Chicago day », pour laquelle on avait fait une réclame monstre, il y a eu 716881 entrées, et trois autres fêtes ont attiré chacune plus de 300000 visiteurs.

Il y avait eu 28 millions d'entrées à l'exposition de 1889 à Paris, c'est-à-dire un million de plus. Mais les conditions géographiques des deux villes sont très différentes. Prenez un compas et, sur un globe terrestre, tracez un cercle dont Paris soit le centre et dont le rayon ait 16° (en latitude), c'est-à-dire environ 1800^{km}, vous circonscrirez une superficie comprenant la plus grande partie de l'Europe et du nord de l'Afrique dont la population est à peu près de 260 millions d'âmes. Faites

(1) Ces chiffres sont ceux qui m'ont été envoyés du commissariat général, quelques jours après la clôture de l'exposition; les chiffres publiés plus tard diffèrent peu de ceux-ci : 27539041 d'après l'*Almanach encyclopédique du World*, p. 82.

le même cercle en prenant Chicago pour centre et vous n'enveloppe rez guère que 64 millions d'âmes. Vous pouvez en conclure que, quoique les Américains se déplacent plus facilement que les Européens, il y a du mérite à avoir attiré tant de millions de visiteurs dans une contrée beaucoup moins peuplée que celle où s'est tenue l'exposition de 1889.

L'exposition de Chicago a donc été un très beau succès. Il est très honorable, pour la cité et pour les organisateurs de la fête colombienne, d'avoir, malgré la différence des conditions géographiques, presque égalé Paris par le nombre des visiteurs. Je redis, en terminant, que ce succès est un événement mémorable dans l'histoire du peuple américain ; j'ajoute que l'exposition est aussi un événement digne de remarque et de méditation pour les Européens qui l'ont vue ou qui commencent aujourd'hui à pouvoir en étudier les résultats dans les rapports imprimés ; que, malgré les critiques de détail qu'on a pu justement lui adresser, elle a fourni une très ample matière d'instruction pour tous, Européens ou Américains, et un témoignage éclatant de ce qu'a accompli et de ce que peut accomplir encore l'esprit d'entreprise de la grande république américaine.

LA

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

A L'EXPOSITION DE CHICAGO,

CONFÉRENCE DU 18 FÉVRIER 1894 [1],

Par M. Gustave RICHARD,

Ingénieur civil des Mines,
Membre du Conseil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale et du Comité de la Société des Ingénieurs civils.

MESDAMES, MESSIEURS,

Le sujet que je vais avoir l'honneur de traiter devant vous : la Mécanique générale à l'Exposition de Chicago, est à la fois très étendu, comme son titre l'indique, et très aride, non pas en lui-même, mais parce qu'en Mécanique, comme en toute science, l'on ne peut guère espérer intéresser véritablement son auditoire que si l'on a la possibilité d'approfondir quelque peu ce dont on parle. Or, il est bien évident que je ne pourrai guère, dans le temps si court dont je dispose, qu'effleurer à peine quelques points d'un aussi vaste sujet; c'est vous dire que j'ai véritablement d'excellentes raisons pour faire, dès le début de cette conférence, un sincère appel à toute votre indulgence.

M. Levasseur vous a dit, dans sa belle conférence inaugurale, quel rôle exceptionnellement important la Mécanique

---

[1] Cette conférence a déjà paru dans la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, dont le Directeur, M. Louis Olivier, a eu l'obligeance de nous prêter les clichés des figures insérées ci-après, p. 148 à 154, 164, et 166 à 201.

avait joué, et joue encore aujourd'hui, dans le développement de la civilisation américaine. C'est bien, en effet, par la Mécanique que les Américains ont achevé la conquête de leur immense territoire, dix-huit fois grand comme la France ([1]). Ils l'ont enlacé d'un réseau de plus de 270000^{km} de chemins de fer, sept fois plus étendu que celui de la France, doublé de son complément inséparable de fils télégraphiques, puis d'un second réseau de voies navigables absolument unique : les grands fleuves, et ces canaux dont quelques-uns, comme celui de l'Érié, ont un trafic supérieur à celui du Volga, et qui sont, comme les grands lacs du Nord, desservis par une marine intérieure des plus importantes. C'est ainsi qu'il passe au port de Détroit, au raccordement des lacs Huron et Érié, un tonnage annuel de près de 20 millions de tonnes (quatre fois celui de Marseille). Chicago elle-même est un très grand port, dont le tonnage atteint aujourd'hui 11 millions de tonnes.

Cette préoccupation d'appliquer partout la Mécanique, nous la retrouvons au milieu des villes, non seulement dans les usines, mais dans les rues, dans les maisons, presque à tous les besoins et à chaque instant de la vie, pour satisfaire à la nécessité tout américaine d'économiser à tout prix le temps si précieux et la main-d'œuvre si rare. Aussi, ne vous étonnerai-je pas en vous disant que la ville de Chicago présentait, à bien des égards, au point de vue des applications de la Mécanique, autant d'intérêt que l'Exposition même : tout d'abord, par ses grandes industries, dont les plus importantes sont celles des céréales et du bétail.

L'exportation de Chicago en céréales et farines s'est élevée, en 1891, à plus de 36 millions d'hectolitres : la Mécanique y trouve une belle application dans l'organisation des célèbres *élévateurs*, où s'opère la manutention de ces masses énormes de céréales, et que M. Ringelmann vous décrira bientôt en détail. Il y en a, à Chicago, une quarantaine, dont quelques-uns peuvent renfermer jusqu'a 800000^{hlit}, ce qui représente un cube de grains d'environ 43^{m} de côté.

([1]) États-Unis : 9213000^{kmq}; France : 530000^{kmq}.

Quant à l'industrie du bétail, vous en aurez une idée par ce fait que l'on tue à Chicago plus de sept fois plus d'animaux de boucherie qu'à Paris. Une seule de ces immenses entreprises de boucherie, celle de *Nelson Morris*, a, en 1893, tué 787000 bœufs, 673000 porcs, 380000 moutons, fabriqué 30 millions de kilogrammes de conserves, renfermées dans 13500000 boîtes, expédié 15846 wagons de viande de bœuf, 32148 wagons de produits divers; elle dispose d'un matériel de 2100 wagons de chemin de fer et de 37 navires, emploie 8000 hommes, avec une paye annuelle de 21250000^{fr}. Enfin, le chiffre d'affaires s'est élevé, en 1893, à 435 millions de francs. Dans ces établissements véritablement colossaux, presque tout se fait par la Mécanique, sauf la tuerie même, pour laquelle on n'a pas encore trouvé de meilleure machine que l'homme armé d'une masse ou d'un couteau.

Viennent ensuite les grandes industries de la fabrication du matériel de chemin de fer et du matériel agricole.

C'est à Chicago que se trouve la grande usine de *Pullman*, où se fabriquent ces luxueuses voitures, célèbres dans le monde entier, dont nos sleepings ne nous donnent qu'une bien faible idée, et grâce auxquelles on franchit sans fatigue les plus longs parcours. L'usine de M. Pullman occupe 5000 ouvriers gagnant, en moyenne, 3000^{fr} par an. Son chiffre d'affaires s'est monté, en 1892, à 60 millions. Autour de cette usine, M. Pullman a construit toute une ville : Pullman-City, avec ses églises, ses théâtres, ses hôpitaux, habitée presque totalement par ses ouvriers et leurs familles, qui s'y trouvent, au point de vue de l'existence matérielle, le plus confortablement possible.

Parmi les usines qui fabriquent le matériel agricole, je vous citerai le grand établissement de *Deering :* cette fabrique de faucheuses et de moissonneuses occupe 4000 ouvriers; elle a dévoré, en 1892, 20000 tonnes d'acier, 23000 tonnes de fer, 36000 tonnes de charbon, 1250 wagons de bois, et 630000^{mq} de toile pour les moissonneuses-botteleuses. Vous voyez qu'il s'agit ici de véritables puissances, contre lesquelles nos petites usines d'Europe ne peuvent évidemment lutter qu'avec la plus grande peine.

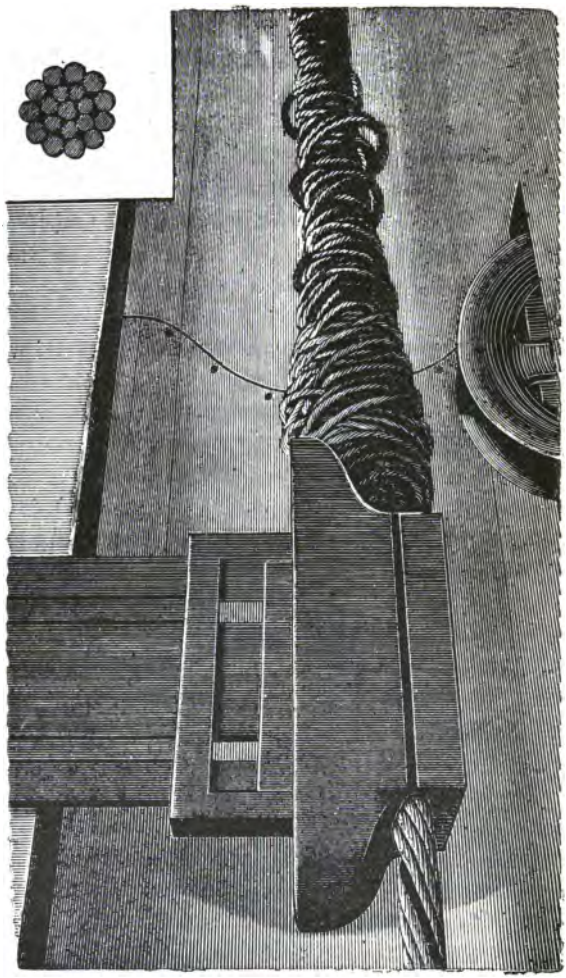
I.

A côté de ces immenses usines, ce qui frappe le plus à Chicago, comme dans toutes les grandes villes américaines, au point de vue de la Mécanique, c'est la façon véritablement grandiose et simple dont on y a résolu, principalement au moyen des tramways, le problème si difficile et si important de la circulation urbaine, problème indéfiniment discuté chez nous sans aucun résultat.

Ces *tramways* sont, comme vous le savez, presque exclusivement mécaniques : ils fonctionnent soit par l'électricité, soit au moyen de câbles. Je ne vous dirai rien des tramways électriques, dont M. Hospitalier vous a entretenu dans la précédente conférence. Quant aux tramways à câble, vous en connaissez le principe : un câble sans fin, en fils de fer ou d'acier, circule constamment, abrité dans un caniveau creusé entre les rails de la voie, où il est saisi, à la volonté du conducteur, par une pince ou *grip*, attachée à la voiture : quand la pince est serrée, le câble entraîne la voiture à sa vitesse même; quand il est desserré, la voiture s'arrête, enrayée par un frein qui fonctionne souvent automatiquement, par le desserrage même de la pince. En réalité, il n'en est pas toujours ainsi; la pince se coince quelquefois, ou se trouve, par un accident quelconque, par exemple, comme vous l'indique cette photographie (*fig.* 1), par la rupture et le refoulement d'un toron, mise dans l'impossibilité de lâcher son câble. Dès lors, on ne peut plus arrêter : c'est une machine emballée, des plus dangereuses, jusqu'à ce que l'on ait transmis à la station motrice l'ordre de stopper; puis la circulation de toute la ligne reste interrompue, parfois pendant plusieurs heures, jusqu'à ce que l'on ait réparé l'accident. En outre, ces tramways présentent le grave inconvénient d'exiger la marche constante du câble, avec le même frottement, la même usure, quelles que soient les variations toujours ou presque toujours extrêmes de la circulation; et vous saisirez facilement que ce ne sont ni une usure ni un frottement négligeables, quand

vous songerez que ces câbles ont de 20^{km} à 25^{km} de long, et pèsent jusqu'à 90 tonnes. Or, l'électricité n'est guère sujette à

Fig. 1.



Engorgement du *grip* d'un tramway à câble à la suite de la rupture d'un toron.

Il s'est enroulé sur le câble une longueur de 450 mètres de ce toron, occasionnant un arrêt de plusieurs heures. (Tramways de Broadway, *Scientific American*, 2 sept. 1893).

aucun danger; le tram électrique peut toujours s'arrêter, la dépense par voiture-kilomètre y est plus faible, et celle de l'établissement de la voie près de quatre fois moindre : vous comprendrez donc aisément que les tramways à câble, qui sont

arrivés les premiers et ont occupé les meilleures places, sont, chaque jour, supplantés de plus en plus par les tramways électriques, absolument prépondérants aujourd'hui aux États-Unis (1).

Mais ce qui est véritablement extraordinaire, c'est la puissance de locomotion de ces tramways mécaniques, à câble ou à l'électricité. Débarrassés de tout système de contrôle et de bureaux, si encombrants à Paris, jamais complets, car on s'y accroche à ses risques et périls tant que l'on peut y tenir, ces tramways peuvent, aux heures de presse, transporter de véritables multitudes, dont on se fait difficilement une idée chez nous. C'est ainsi qu'au *Chicago day*, cette journée exceptionnelle, où l'Exposition reçut 760000 entrées, les tramways ont, à eux seuls, transporté, en moyenne, du centre de Chicago à l'Exposition (distance 12^{km}) plus de 500000 voyageurs aller et retour, c'est-à-dire 12 millions de voyageurs-kilomètres, ou plus de quatre fois le trafic moyen journalier de tout l'ensemble des omnibus et tramways de Paris en 1889. Si vous considérez que Chicago n'a que 1500000 habitants, et Paris plus de 2500000, et que Chicago est, en outre, desservie par des chemins de fer intérieurs, traversant toute la ville, et, par conséquent, infiniment plus utiles que notre ligne de ceinture, vous reconnaîtrez combien la cité américaine est supérieure à Paris au point de vue des moyens de communication.

Lorsqu'on voit ces tramways mécaniques circuler avec tant d'activité et de sécurité sur des voies comme, par exemple, la Broadway de New York, certainement plus animées que nos boulevards, on est tout naturellement conduit à penser que la solution si lente à venir, et pourtant si pressante, de notre question du métropolitain consisterait, peut-être, tout simplement, à remplacer, avec l'élargissement et la rectification de quelques rues trop étroites, nos voitures à chevaux par des voitures mécaniques. Cela coûterait infiniment moins cher, et serait beaucoup plus agréable pour le public que n'importe

(1) On y comptait, en 1893, 12000^{km} de tramways électriques, avec plus de 17000 voitures. *Boston* seule en avait 680^{km}, et 2131 voitures.

quel système de chemins de fer souterrains comme à Londres, ou aériens comme à Berlin. En réalité, dans les grandes villes américaines, — New York, Chicago, Boston, — les tramways mécaniques, dont les voitures se suivent par groupes de deux à trois, à des distances de 150^m à 200^m, constituent de véritables trains continus, marchant à une dizaine de kilomètres à l'heure, dans les passages les plus encombrés.

Dans les grands *buildings* à 16 et 20 étages, qui vous seront décrits en détail par M. Pillet, où il y a, comme au Manhattam building, jusqu'à 900 bureaux, il faut évidemment, pour rendre ces immenses casernes habitables, installer des services d'ascenseurs exceptionnellement actifs et puissants. Ainsi que vous l'a dit M. Hospitalier, beaucoup de ces appareils fonctionnent par l'électricité; mais, encore aujourd'hui, la majeure partie d'entre eux fonctionne par l'eau sous pression, comme les nôtres, avec, toutefois, cette différence importante: qu'ils ne sont presque jamais à puits, mais à câbles mouflés, analogues, en petit, à l'ascenseur Otis qui fonctionne à la tour Eiffel. C'est un système plus économique que le puits, surtout pour les grandes hauteurs, et qui se prête plus facilement aux grandes vitesses, indispensables là-bas. Dans les *buildings*, dans les hôtels et les magasins, ces ascenseurs sont très nombreux (il y en a 13 à l'*Auditorium*, 14 au temple maçonnique) et fonctionnent sans discontinuer, avec une rapidité et une sécurité absolument remarquables, qui contrastent singulièrement avec la lenteur des nôtres, auxquels le public français a encore tant de peine à se confier ([1]).

A côté des ascenseurs, on trouve, dans presque tous les magasins américains, admirablement installé, tout un service de transport automatique des petits paquets. Ce transport s'opère au moyen d'appareils fort simples, appelés *cash car-*

([1]) On peut encore signaler, comme l'une des applications les plus originales de la Mécanique, celle que l'on en fait souvent, à Chicago, au *transport des maisons*. C'est ainsi que l'on a transporté en 1890, à des distances allant parfois jusqu'à une centaine de mètres, 1710 maisons, présentant une longueur totale de façade de $9^{km},600$. Plusieurs de ces maisons, en briques, avaient quatre ou cinq étages.

riers et *package carriers*, dont l'image ci-contre (*fig.* 2

Fig. 2.

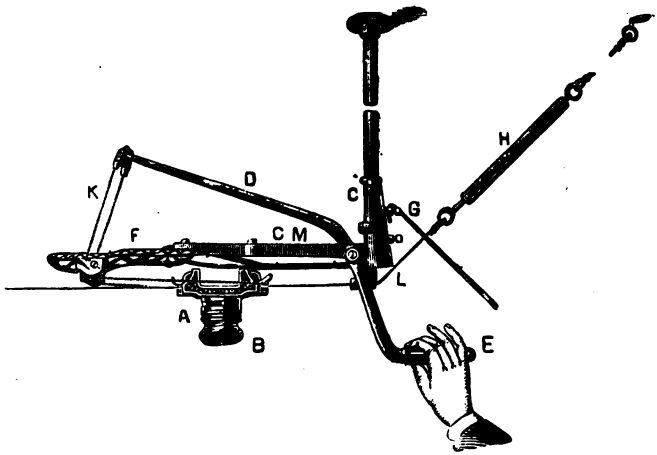


Fig. 3.

Cash carrier de la *Standard Store Service C°*, Freeport.

Quand on abaisse, comme sur la *fig.* 2, la poignée E du levier ED, la corde K projette en avant, sur le fil LJ de la voie, le petit chariot à roues A, avec sa bourse B, jusqu'à l'appareil représenté en *fig.* 3, où il s'engage dans la boucle de la corde correspondante, prêt à être renvoyé au premier appareil.

et 3) va vous permettre de comprendre le fonctionnement général. Un certain nombre de comptoirs se trouvent en pos-

session d'un petit appareil de levage relié par un fil à un bureau central, où est assis le caissier. Quand vous avez acheté un article, le vendeur prend votre monnaie, la met, avec un bon, dans le chariot très léger de son *cash carrier*, et l'envoie, d'un coup de ficelle, au caissier, qui vous le retourne avec l'appoint et le bon acquitté. Un système de fils analogues, se ramifiant dans tout le magasin, sert au transport des petits paquets, qui vous suivent ainsi, de comptoir en comptoir, jusqu'à celui du dernier achat, où vous trouvez réunies toutes vos petites emplettes, et où le caissier vous retourne l'appoint de votre monnaie et le bon final. Ces appareils, sur le détail desquels je ne puis insister ici, fonctionnent avec une parfaite régularité, suffisent aux ventes les plus actives et les plus détaillées, et je ne vois pas de raison pour qu'ils ne soient pas appliqués chez nous, du moins en partie (1).

Les *appareils de levage* sont, cela va sans dire, extrêmement répandus et très variés aux États-Unis. Ils atteignent parfois de très grandes dimensions, comme, par exemple, le pont roulant de 150 tonnes et de 18^{m} de portée établi par *Morgan* dans l'arsenal de Washington (2); et l'on y applique très souvent, comme pour les ascenseurs, l'électricité, sous des formes parfois très ingénieuses (3). On en avait deux beaux exemples à l'Exposition même, par les ponts roulants de *Sellers* et de *Morgan*, qui desservaient le Palais des Machines et y transportaient des voyageurs, comme ceux de notre galerie du Champ de Mars, en 1889.

Comme je ne puis évidemment vous décrire ces machines, car l'heure s'avance déjà, je me bornerai à attirer particulièrement votre attention sur un appareil d'apparence plus modeste, mais très répandu aux États-Unis, et qui y rend, chaque

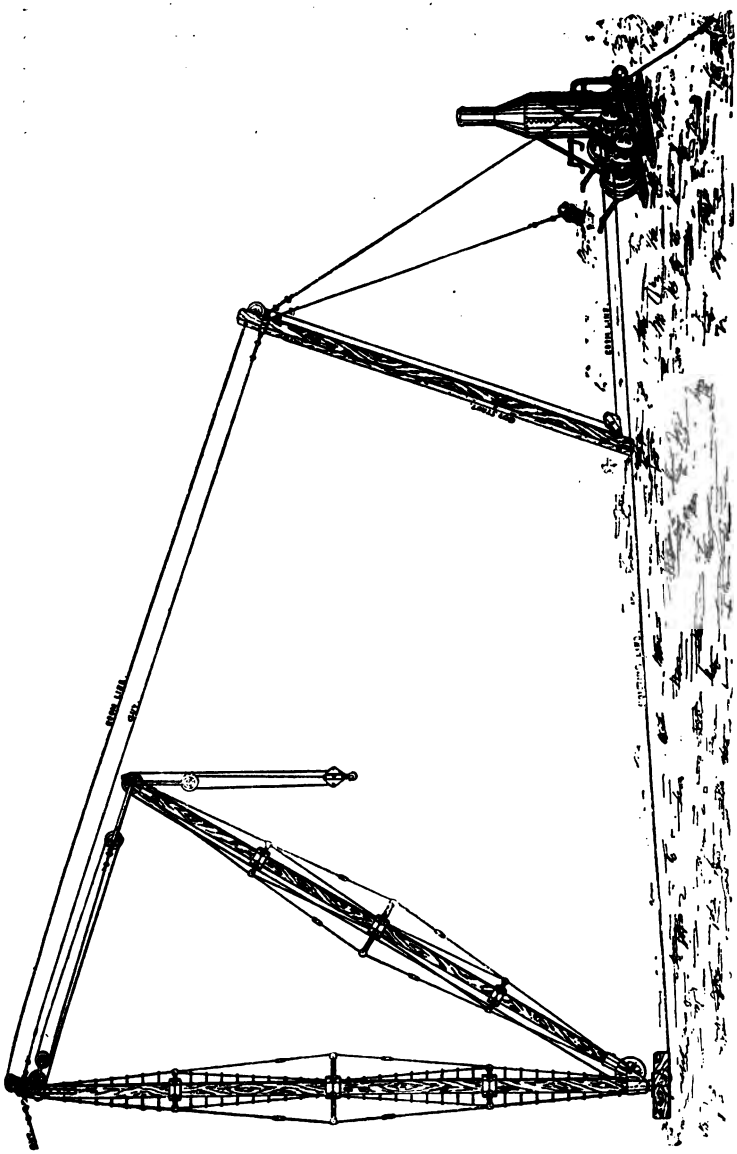
---

(1) Notamment les appareils de la *Mansfield* Cash and Package Carrier C^{o}, de la *Standard* Store Service C^{o} (Freeport), de la *Barre* Cash and Package Carrier C^{o} (Mansfield), de la *Lawson* Consolitated Store Service C^{o} (New Jersey) et de *Dillenbeck*. Ces appareils seront décrits en détail dans le numéro de juillet 1894 du *Portefeuille des machines*.

(2) *American Machinist*, 12 juin 1890.

(3) *La Lumière électrique*, 27 janvier 1894, p. 168, et 3 mars 1894, p. 406.

Fig. 4.

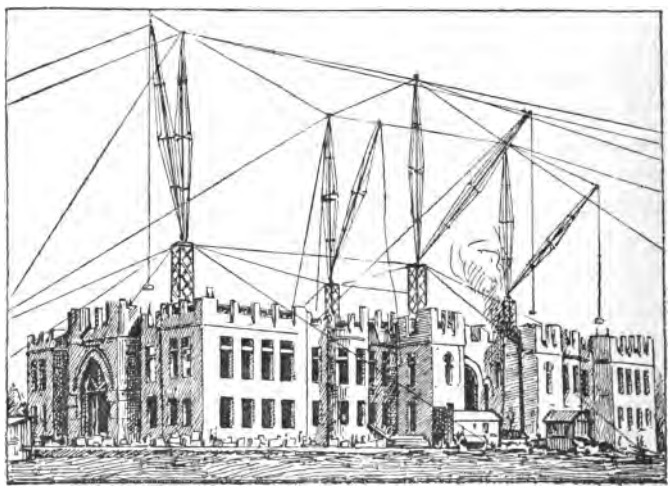


Grue à la volée (ou *Derrick*) de l'*American Hoist and Derrick C°* (Saint-Paul).

jour, les plus grands services. Je veux parler des *grues à la*

volée, employées presque exclusivement là-bas pour la construction des maisons, et dont la *fig.* 4 vous représente un excellent spécimen. L'appareil est tout entier en pièces de bois armées et assemblées par bout, dont aucune n'a plus de 6^{m} de long, afin de pouvoir facilement se loger dans un wagon. Le

Fig. 5.



Emploi des grues à la volée pour la construction du Palais de Justice de Salt Lake City.

mât a 24^{m} de long, la volée 22^{m},50, et peut porter jusqu'à 15 tonnes. (Prix, 3900^{fr}. Avec tubes en acier au lieu de pièces de bois, le prix est de 4000^{fr}.) La fiche de renvoi, *guy strut*, que l'on voit à droite de la figure, permet de placer le treuil à vapeur qui commande la grue aussi loin qu'on le veut. Ce treuil commande la levée de la volée autour de son axe par un câble, *boom line*, renvoyé de la fiche, et la levée de la charge par un câble direct, *hoisting line*, renvoyé par une poulie au bas de la volée.

Comme exemple d'application de ce genre de grues, je vous citerai celle qui en a été faite, en 1893, à la construction du Palais de Justice de la cité des Mormons. On y a, comme vous le montre la *fig.* 5, employé quatre de ces grues en fer, mon-

tées sur des pylônes en bois de 12^m de haut, et dont les quatre volées de $22^m,50$ couvraient tout le terrain, de $43^m \times 100^m$ de long, sur lequel elles ont élevé les cinq étages de l'édifice, sans être une seule fois dérangées jusqu'à la fin de sa construction.

II.

Nous allons maintenant entrer dans le Palais des Machines de l'Exposition, et y regarder, malheureusement bien à la hâte, quelques-unes de ses curiosités mécaniques les plus importantes, en débutant par les chaudières et les machines motrices.

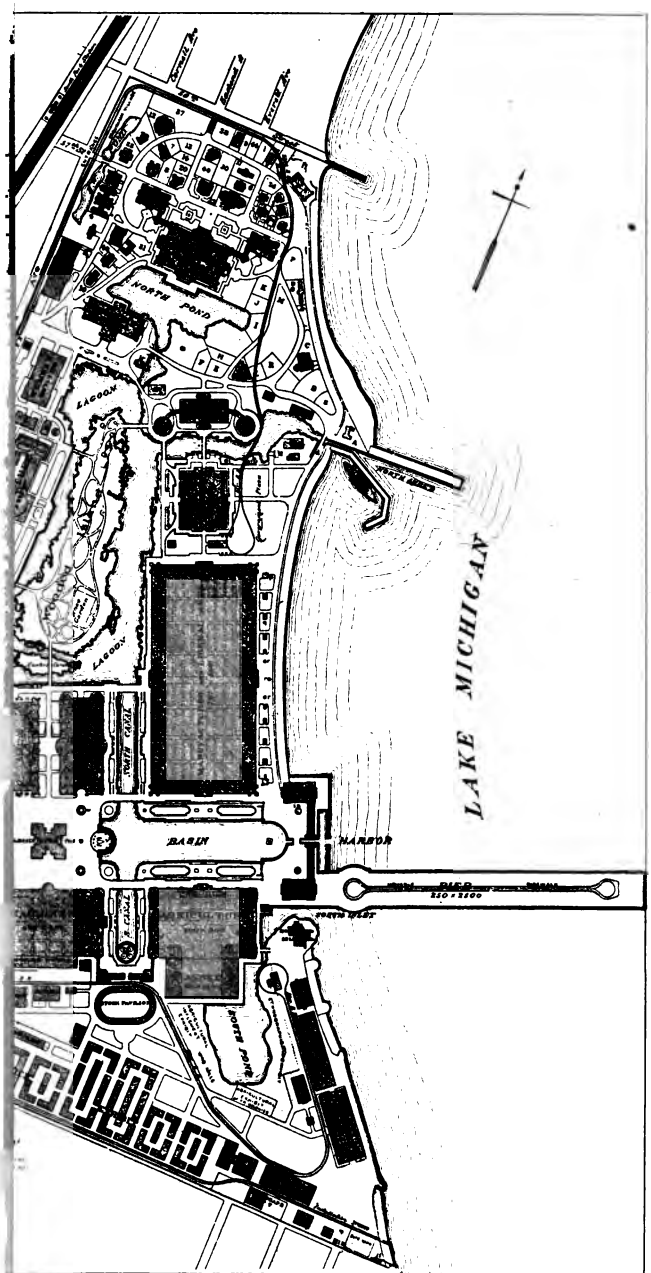
Les *chaudières* exposées à Chicago ne présentaient, en elles-mêmes, ou individuellement, rien de bien particulier. C'étaient, en immense majorité, des chaudières à petits éléments, ou du type *tubulé*, c'est-à-dire où l'eau se trouve enfermée dans des tubes, à l'inverse de ce qui se passe dans les chaudières tubulaires, où la flamme traverse, au contraire, ces tubes entourés par un grand volume d'eau. Ce genre de chaudières est remarquable par sa sécurité, qui tient à ce que son faible volume d'eau ne peut guère y provoquer les formidables explosions des autres chaudières, et il s'est beaucoup répandu chez nous, principalement depuis le progrès si rapide des installations électriques, à proximité des habitations et dans les habitations mêmes, où les conditions spéciales de sécurité s'imposent absolument. Aux États-Unis, ces chaudières sont plus répandues encore, même là où rien ne s'oppose à l'admission des chaudières ordinaires. Leur transport et leur montage sont, en effet, très faciles, leur économie satisfaisante, et leur entretien a été réduit le plus possible par une foule de détails de construction résultant d'une longue pratique exceptionnellement étendue. Parmi les chaudières de ce type exposées à Chicago, je me contenterai de citer, au premier rang, celles de *Heine*, de *Root*, et surtout celles de *Babcock-Wilcox*, bien connues en France

depuis l'Exposition de 1889 (1), et je me bornerai à attirer votre attention plus particulièrement sur quelques chaudières qui se rapprochent plus des chaudières à vaporisation extra-rapide, ou chaudières express : *du Temple*, *Normand*, *Yarrow*, *Thornycroft*, etc., employées sur les torpilleurs. Telle est, par exemple, la chaudière de *Stirling*, dont la *fig.* 6 vous représente très clairement l'ensemble.

Ainsi que vous le voyez, cette chaudière se compose essentiellement de trois corps ou réservoirs d'eau et de vapeur, disposés au haut de la chaudière, reliés entre eux par des petits tubes recourbés, en deux rangées pour le réservoir de gauche et celui du milieu, en une seule pour celui de droite, puis réunis, par trois faisceaux de longs tubes très inclinés, au grand collecteur du fond, où se précipitent les boues et une partie des dépôts de l'eau d'alimentation. Des panneaux en briques réfractaires obligent la flamme à parcourir successivement et en zigzag ces différents faisceaux de tubes, suivant un trajet le plus long possible, de manière à bien brasser les gaz, et à en faire absorber la chaleur au mieux de l'économie. La circulation de l'eau se fait dans cette chaudière, comme dans toutes celles du même genre, plus ou moins méthodiquement, et jusqu'à une limite de vaporisation ou d'activité à déterminer par l'expérience, en raison de la différence des densités de la colonne d'eau relativement froide et pleine des tubes de l'arrivée et de la colonne d'eau et de vapeur des tubes de l'avant. Dans les chaudières exposées, les tubes en acier, au nombre de 308, avaient $0^{m},083$ de diamètre sur $3^{m},90$ de long, avec une surface de chauffe de 300^{mq}; les réservoirs du haut avaient $0^{m},80$ de diamètre sur $4^{m},95$ de long, et celui du bas $1^{m},05$ sur $4^{m},95$. Ces chaudières ont parfaitement fonctionné pendant toute la durée de l'Exposition, et sont assez répandues aux États-Unis : il était donc utile de les signaler, bien qu'elles ne paraissent présenter aucun avantage de principe sur les types tubulés ordinaires, principalement au point de vue de la facilité d'y remplacer un tube brûlé ou fendu.

---

(1) *Bulletin de la Société d'Encouragement*, avril 1894.



Fils, Éditeurs.

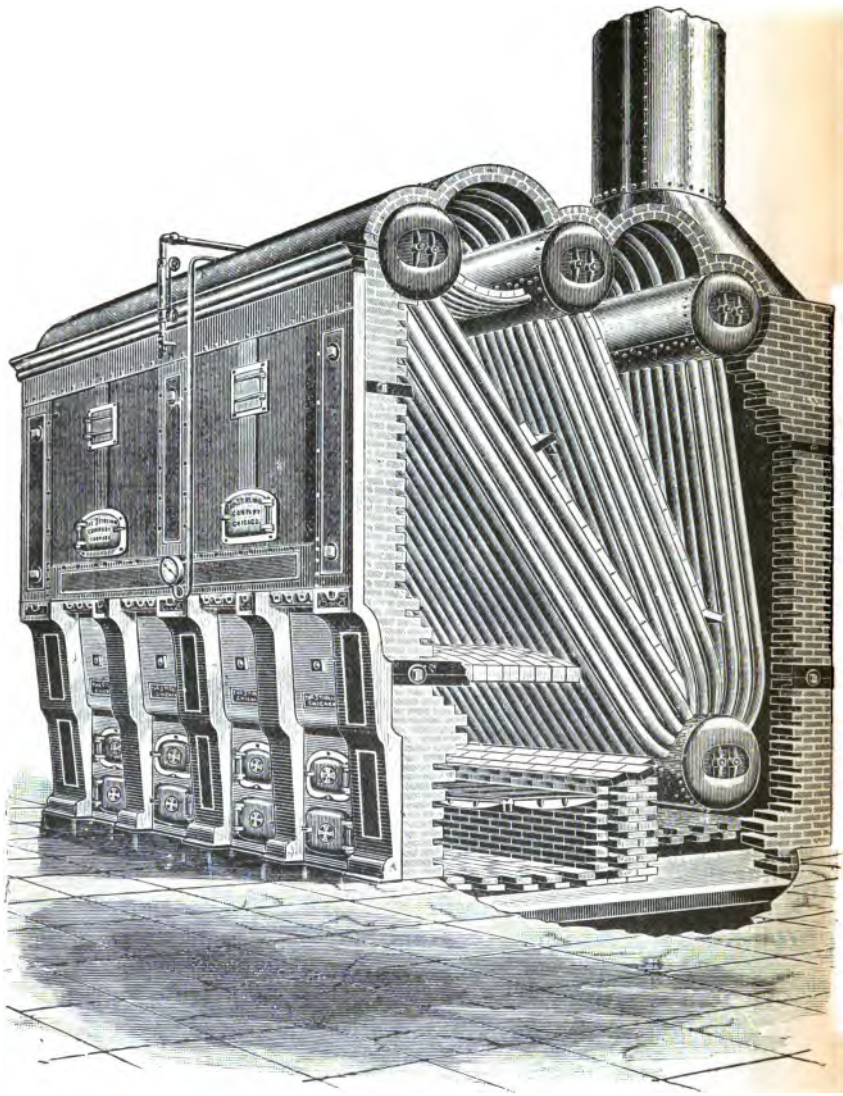
Je signalerai encore les grandes chaudières verticales de *Morrin*, du type Climax, également à tubes d'eau, dont l'une avait 864 tubes de $0^{m},076$ de diamètre sur $3^{m},80$ de long, avec 930^{mq} de surface de chauffe, et vaporisait par heure environ $13^{mc},50$.

Si, comme je viens de vous le dire, les chaudières ne présentaient pas en elles-mêmes de bien grandes nouveautés, on ne saurait en dire autant de leur installation générale dans la galerie annexe, au bord du Palais des Machines. Dans cette longue galerie de 43 chaudières, suivie d'une annexe de 9 chaudières, fournissant une moyenne d'à peu près 25000 chevaux, avec une vaporisation d'environ 340^{mc} d'eau par heure, il n'y avait, pour le service, que deux chauffeurs habillés tout en blanc, puis un troisième, placé à l'extrémité de la galerie, dans une sorte d'observatoire, muni de torches électriques au moyen desquelles il signalait, sur un tableau de la galerie, celle des cheminées qui, par hasard, fumait un peu. L'un des deux chauffeurs de l'intérieur, ainsi averti, s'en allait à la chaudière signalée, et en réglait immédiatement le foyer.

Le secret de cette conduite prodigieusement simple, vous le voyez révélé sur la *fig.* 7, qui représente la coupe de l'un des foyers de ces chaudières : c'est que toutes, elles fonctionnaient, non pas au charbon, mais en brûlant du pétrole, envoyé de la petite ville de Lima, dans l'Ohio, par une canalisation de 385^{km} de long. Ce pétrole, amené sous une pression d'environ $\frac{1}{4}$ d'atmosphère, dans une sorte de pulvérisateur, et par le tube marqué *Oil* (huile), était, à sa sortie du pulvérisateur, saisi par un jet concentrique de vapeur surchauffée, amené par le tuyau marqué *Steam* (vapeur), qui le pulvérisait et le vaporisait en même temps.

L'air nécessaire à la combustion de ce mélange de vapeur et de pétrole arrivait s'y mêler par les trous indiqués en avant du foyer et par les ouvertures de la grille; et la nappe de flamme ainsi développée traversait, comme vous le voyez, avant d'arriver aux tubes, une sorte de muraille en briques réfractaires percée de nombreuses ouvertures, qui protégeait les tubes de son attaque immédiate, achevait de bien la mé-

Fig. 6.



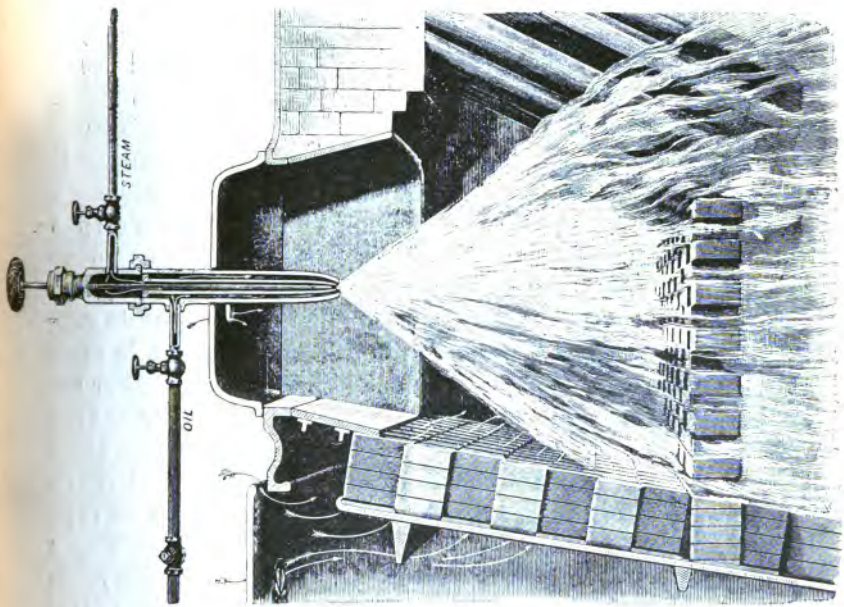
Chaudière *Stirling*.

langer à l'air et d'en parfaire la combustion, en régularisant et

en élevant, par sa masse calorifique, la température moyenne du foyer.

On a ainsi chauffé continuellement, dans tout l'ensemble de l'exposition, 52 chaudières, avec 210 brûleurs, qui ont

Fig. 7.



Brûleur à pétrole *Burton*.

dépensé environ 48000^{mc} ou 34000 tonnes de pétrole, à 0^{fr},02 le litre, réalisant, d'après les données officielles, environ 27 pour 100 d'économie sur le charbon. Les 43 chaudières de la galerie des machines dépensaient par jour à peu près 22 tonnes de pétrole pour vaporiser 340^{mc} d'eau, soit une production de vapeur d'environ 15^{kg} par kilogramme de pétrole.

Cette question de l'emploi du pétrole est des plus importantes, principalement pour la marine. Les grands transatlantiques, comme la *Campania*, par exemple, dont les machines développent jusqu'à 35000 chevaux, dévorent près

de 500 tonnes de charbon par jour. Comme le pétrole tient, à puissance calorifique égale, environ quatre fois moins de place que le charbon, et qu'il dispense de ces nombreuses équipes de chauffeurs, dont le travail, toujours pénible, est souvent dangereux, vous voyez quelle économie de fret et de main-d'œuvre on réaliserait par son emploi.

Ajoutons, à ces avantages, celui d'une absence complète de fumée, particulièrement précieuse en temps de guerre, et cette considération que nos cuirassés et nos torpilleurs sont arrivés à la limite d'encombrement, et vous ne vous étonnerez plus de l'extrême intérêt que portent actuellement à cette question les marines civiles et militaires du monde entier. — Il y a malheureusement, pour l'application du pétrole au chauffage des chaudières marines, une difficulté qui n'est pas encore tout à fait surmontée : ce n'est pas, comme on pourrait le croire, celle d'assurer la sécurité, aussi complète presque qu'avec le charbon, mais de limiter ou même de supprimer l'emploi de la vapeur au pulvérisateur ; car, à la mer, l'eau douce coûte plus cher que le charbon. Cette vapeur est nécessaire, non pour brûler le pétrole, mais pour le brûler avec une flamme suffisamment neutre et stable pour ne pas ruiner les tubes et les plaques tubulaires des chaudières. On n'a guère pu s'en passer jusqu'ici en pratique ; et, sous ce rapport, les Américains ne semblent guère plus avancés que nous. Mais il n'en est pas moins vrai que, si les brûleurs américains, presque tous établis sur le même principe que celui de la *fig.* 7, ne présentaient, comme leurs chaudières, aucune nouveauté essentielle, l'ensemble de leur magnifique installation, marchant, pendant plus de six mois, sans aucun accroc, et avec un personnel insignifiant, a fourni la démonstration la plus complète et la plus grandiose qui ait jamais été faite de la possibilité d'appliquer pratiquement, et en pleine sécurité, le chauffage au pétrole aux installations les plus considérables.

On retrouve fréquemment, aux États-Unis, les foyers à pétrole sous les chaudières des canots et embarcations de plaisance, où leur mise en feu instantanée, leur conduite propre et facile, leur absence complète de fumée les font particulièrement rechercher. L'une des plus employées parmi ces

chaudières à pétrole est celle de *Shipman* (1). Une machine faisant 4 chevaux, à 300 tours, pèse, avec sa chaudière, 450^{kg}, et coûte 1800^{fr}.

Les *machines à vapeur* exposées à Chicago, tout en ne présentant, comme chaudières, que fort peu de nouveautés proprement dites par rapport à celles qui figuraient à l'Exposition de 1889, n'en portaient pas moins, dans leur ensemble, la marque de ce progrès continu, qui fait que l'on constate toujours, d'une grande Exposition à l'autre, une amélioration notable, bien qu'assez difficile à définir, dans les branches principales de la Mécanique industrielle.

Les machines à vapeur américaines sont, en grande majorité, horizontales et sans condensation (sauf pour les machines compound), à cause de la difficulté assez fréquente de se procurer de l'eau convenable — et parce que l'on tient beaucoup à ne payer que le moins cher possible des machines achetées avec l'espoir de les remplacer bientôt, dès que la prospérité de l'entreprise exigera l'agrandissement de l'usine. Pour les grandes machines, les courses des pistons sont, en général, plus longues qu'en Europe, ce qui tient, en partie, à ce que la distribution *Corliss*, originaire d'Amérique, ne se prête pas aux grandes vitesses.

On retrouve néanmoins, aux États-Unis, se développant avec plus de rapidité encore qu'en Europe, la classe si intéressante des machines à grandes vitesses, destinées principalement à l'actionnement des dynamos, et dont le prototype est la célèbre machine de *Porter-Allen*. Ce sont des machines en général très ramassées, à bâtis du type *self contained*, robuste, assurant un alignement aussi rigoureux que possible du cylindre et des glissières symétriques, avec paliers égaux s'usant identiquement; régulateur directement monté sur l'arbre de couche ou sur le volant, dont l'idée première appartient à M. *Raffard;* crosse à quatre glissières; arbre

---

(1) *Bulletin de la Société d'Encouragement*, avril 1894. *Voir* aussi, dans ce même Bulletin, la description des brûleurs *Larkin, Convert, Harper, Claybourne,* et de l'*Aerated Fuel C°*.

à double manivelle, parfois rapportée. Il suffit de citer les types bien connus d'*Armington*, de *Buckeye*, de *Ball*, *Mac Intosh*, *Sweet*, etc., déjà bien connus des ingénieurs français (1).

Les machines verticales, bien qu'encore en minorité, commencent à se répandre aux États-Unis, principalement pour la commande directe des dynamos à marche lente. Comme exemple, on peut citer celle de la *Southwark Foundry C°*, à triple expansion, avec cylindres de 560^{mm}, 840^{mm} et $1^{m},360$ de diamètre, sur 915^{mm} de course, distribution *Corliss*, et pompe à air indépendante, qui actionnait directement, à la vitesse de 100 tours, deux dynamos Siemens de 2700 ampères et 150 volts chacune.

La machine la plus puissante de l'Exposition était celle de la Compagnie *Allis*, de Milwaukee : compound horizontale, à quadruple expansion, avec cylindres totalement enveloppés de 660^{mm}, 1^{m}, $1^{m},520$, $1^{m},780$ de diamètre, et de $1^{m},83$ de course, faisant 3000 chevaux à 60 tours, avec une pression initiale de $11^{kg},20$. La distribution, du type *Corliss-Reynolds*, est gouvernée par un régulateur *Porter-Allen*. Le condenseur séparé, à injection, est mû par une machine *Corliss* à cylindre de 400×900^{mm}, avec pompe à air de 910^{mm} de diamètre. Le volant, de $9^{m},14$ de diamètre et de $1^{m},93$ de large, pesait 67 tonnes, dont 40 à la jante. Son arbre avait 530^{mm} de diamètre au centre, et 480^{mm} aux portées. La vapeur passait d'un cylindre de détente à l'autre au travers de réservoirs intermédiaires, à tubes chauffés par la vapeur de la chaudière.

On doit encore signaler, dans la catégorie des *grandes machines*, celles des *bateaux* de fleuves. Ces machines, à balancier dépassant le pont du navire, donnent à ces bateaux un aspect caractéristique, et atteignent parfois des dimensions

(1) On trouve des descriptions détaillées de presque toutes les machines à vapeur de l'Exposition de Chicago dans les numéros de la *Revue industrielle* du premier semestre de 1894 et dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* d'août 1894.

colossales. La machine du *Puritan*, par exemple, — navire de 4600 tonneaux, à roues de $10^m,50$, pesant 100 tonnes, — est une compound de 7500 chevaux, à cylindres de $1^m,90$ et $2^m,80$ de diamètre; $2^m,70$ et $4^m,20$ de course; son balancier, en fonte frettée, de $10^m,20$ de long et de $5^m,10$ de large au milieu, pèse 42 tonnes. Les manivelles pèsent 9 tonnes, leurs boutons ont 500^{mm} de diamètre, sur 560^{mm} de long; l'arbre des roues est en deux parties de 40 tonnes chacune, ayant $0^m,70$ de diamètre aux portées; il fait 24 tours par minute. Ces machines, admirablement entretenues, fonctionnent avec une douceur parfaite; on ne les sent pas sur le bateau, et elles sont très économiques.

A côté, et en opposition de ces grandes machines, on doit mentionner avec éloges un certain nombre de machines extrêmement actives et condensées, du type à simple effet, à détente unique ou compound, comme les machines anglaises de *Willans* et les machines américaines de *Westinghouse*, nouveau type ([1]); puis, à l'extrême dans cette voie (*fig.* 8, 8 *bis* et 9), une nouvelle *turbine à vapeur* suédoise de M. *de Laval*, extrêmement simple, établie d'après un principe qui paraît nouveau, supprimant la difficulté des joints, et donnant, d'après des expériences qui semblent sérieuses, une économie de vapeur presque paradoxale. Une turbine de Laval de 50 chevaux, à condensation, n'aurait dépensé que 9^{kg} de vapeur par cheval-heure. Ces turbines marchent à une vitesse prodigieuse : celle de 20 chevaux fait 24000 tours par minute; de sorte qu'un poids de 1^{gr} développe, à la circonférence de sa roue, qui a 160^{mm} de diamètre et 10^{mm} d'épaisseur, une force centrifuge d'environ 50^{kg}. Le moindre balourd serait donc désastreux, si l'on n'y avait remédié en donnant à l'arbre de cette roue un diamètre très faible : 6^{mm}, de manière que, grâce à sa flexibilité, la roue se centre automatiquement autour de son

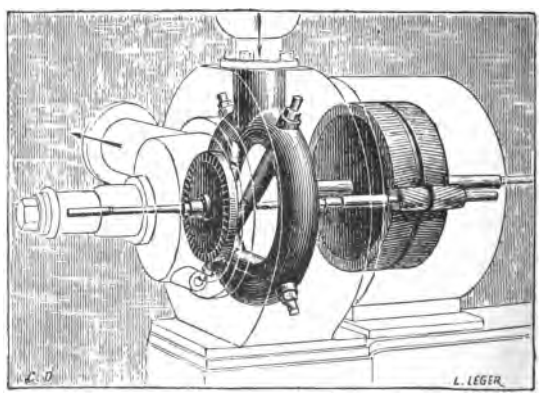
---

([1]) L'une de ces machines, de 125 chevaux, compound, à 300 tours par minute, a fait, à l'Exposition, environ 75 millions de tours, sans s'arrêter, de sorte que son volant, de $1^m,70$ de diamètre, aurait fait, en locomotive dix fois le tour de la Terre.

axe de figure, comme celles des turbines *Parsons* sur leurs paliers élastiques.

Vous saisirez, je crois, facilement le principe de la turbine de Laval d'après les *fig.* 8 et 9, qui représentent : l'une, la turbine et sa transmission ; et l'autre, la roue sortie de son enveloppe et montée sur son arbre. D'un côté, par la partie de l'enve-

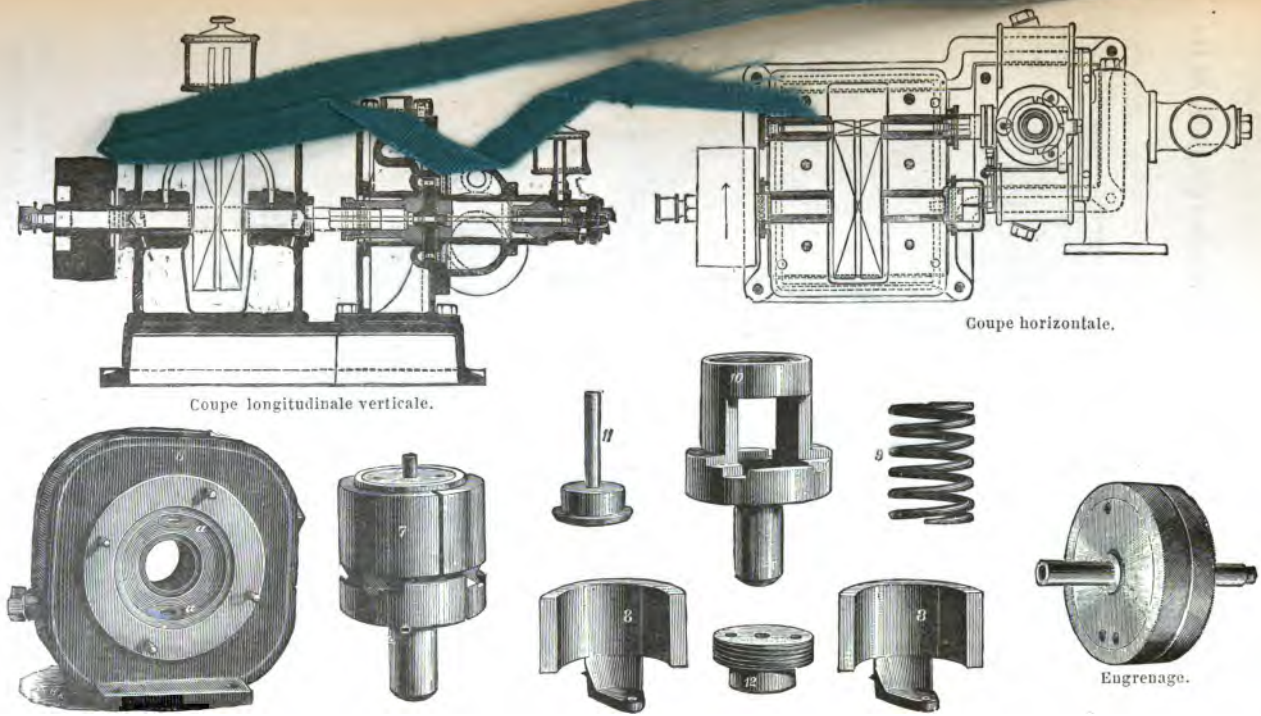
Fig. 8.



Turbine *de Laval* avec sa transmission. — Vue d'ensemble.

On a représenté comme transparente l'enveloppe de la turbine proprement dite et de sa transmission. La vapeur arrive suivant la flèche supérieure dans une sorte de tore, d'où elle passe à la roue de la turbine par quatre ajutages analogues à celui de la *fig.* 9, dont on voit les orifices en *a a* (*fig.* 8 *bis*), sur le dessin qui représente la *chambre* de la turbine, pour s'échapper, après avoir traversé la roue, suivant la flèche horizontale.

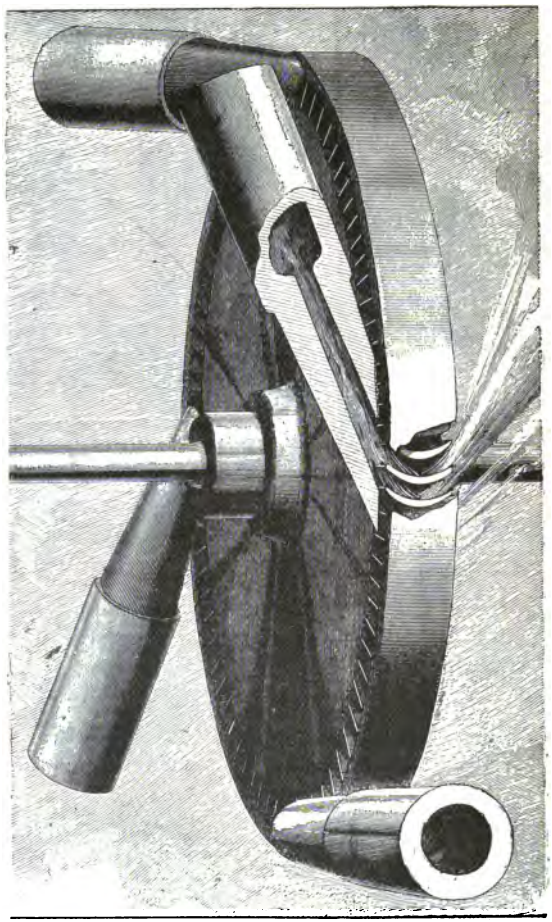
loppe en communication avec la chaudière, débouchent, sur les aubes, des ajutages qui y soufflent de la vapeur ; puis cette vapeur traverse les aubes de la roue, en la faisant tourner par sa réaction, et s'échappe enfin, de l'autre côté, dans la partie de l'enveloppe en communication avec l'atmosphère ou le condenseur. Vous remarquerez que les ajutages ou tuyères qui amènent la vapeur vont en s'élargissant comme des cônes ayant leur grande base tournée vers la roue. Il en résulte que la vapeur se détend dans ces ajutages ; et l'on en a calculé la conicité de manière que la vapeur arrive sur les aubes à la pression même de l'atmosphère ou du condenseur, de sorte



Turbine de *Laval* avec sa transmission. — Détails.

qu'elle les aborde avec la plus grande vitesse possible, et les

Fig. 9.



Roue de la turbine *de Laval*.

Les tuyères qui amènent la vapeur à la turbine sont coniques, et ont leur grande base située contre la roue, afin de permettre à la vapeur de s'y détendre.

traverse sans s'y détendre, en y agissant comme le ferait une eau extrêmement légère, mais animée d'une vitesse co-

lossale, que l'on pourrait augmenter encore par l'emploi de la vapeur surchauffée.

De là l'extrême activité de cette machine (1), et son bon rendement, parce que la vapeur y utilise presque toute sa puissance impulsive, avec une perte très faible par la conductibilité des parois; de là aussi sa grande simplicité, parce que l'on évite, par le fait même de l'équilibre automatique des pressions sur les deux faces de la roue, la nécessité des joints entre ses faces et celles des aubes fixes, à l'inverse de ce qui se passe dans les autres turbines, où la détente se fait dans ces aubes mêmes. Cette idée, en apparence si simple, de faire exécuter à la vapeur sa détente non dans les aubes, mais dans les ajutages qui l'amènent à la turbine, est donc bien la principale caractéristique de cette machine, si remarquable à tous égards, et qui était certainement la plus originale de l'exposition de Chicago (2).

Dans le Palais des Machines de l'Exposition, les moteurs qui actionnaient les dynamos servant à l'éclairage de toute l'Exposition, — 17000 chevaux, — et les transmissions, — environ 7000 chevaux, — encombraient, écrasaient toutes les autres machines. Leur bruit, rien que celui des courroies et des pompes de condensation, était des plus désagréables, ainsi que l'odeur de leur graissage et, surtout pendant les mois d'été, la chaleur de leur tuyauterie, coûteuse et qui occasionna plusieurs accidents. Je pense qu'il y aurait peut-être lieu, pour éviter, en 1900, ces inconvénients, qui frappaient tout le monde à Chicago, de grouper tous les moteurs, avec leurs chaudières et leurs dynamos, dans un bâtiment, ou *Palais de la force motrice*, distinct de celui des machines proprement dites. Ce bâtiment serait très économiquement installé au bord

---

(1) La roue d'une turbine de Laval de 300 chevaux n'a que $0^{m},50$ de diamètre, et fait 15000 tours par minute.

(2) Cette turbine a été récemment introduite en France par M. Sosnowski et elle est construite par la maison Breguet pour le compte de la Société *de Laval*. (Pour plus de détails, voir le *Bulletin de la Société internationale des Électriciens* du 2 mai 1894 et le *Portefeuille des Machines* de juillet 1894.)

de la Seine, à pied d'œuvre de l'eau et du charbon, et les transmissions du Palais des Machines seraient actionnées, avec une sécurité parfaite, au moyen de dynamos recevant leur courant du Palais de la force motrice. Ce serait nouveau, simple, très propre, et cela donnerait un aspect curieux au Palais des Machines, en ce sens que ces dernières sembleraient, marchant ainsi sous l'action d'une puissance invisible, comme animées d'une sorte de vie.

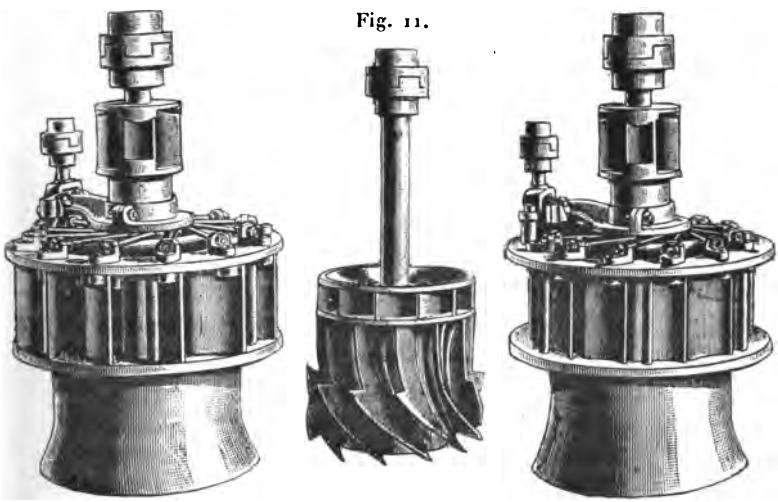
III.

Les *turbines hydrauliques* sont extrêmement répandues aux États-Unis. On évalue à 1200000 chevaux la puissance des chutes d'eau ainsi utilisées sur tout le territoire de l'Union. Cette puissance représente une économie annuelle d'environ 4 millions de tonnes de houille, qu'il faudrait brûler pour la produire dans des chaudières. On aura une idée plus nette encore de son importance, en remarquant que la production totale de nos bassins houillers ne s'est guère élevée, en 1890, qu'à 20 millions de tonnes, et que la puissance totale de nos machines à vapeur ne dépassait guère, en 1892, 966000 chevaux, non compris nos locomotives.

La plupart des turbines américaines appartiennent au genre des turbines à réaction du type *mixte;* c'est-à-dire qu'elles sont traversées par l'eau d'une manière aussi continue que possible, et disposées de façon que cette eau, admise sur les aubes réceptrices de la roue dans une direction centripète, ou de la circonférence vers l'axe de la roue, s'y dévie graduellement, pour quitter définitivement la turbine dans une direction parallèle à cet axe. Vous vous ferez, je crois, une idée suffisamment nette de ce genre de construction par les *fig.* 10 à 12 qui représentent la nouvelle turbine *Leffel,* du type *Samson,* inventée par MM. *Bookwalter* et *Tyler.* Vous voyez, à gauche, la turbine représentée avec toutes ses vannes d'admission ouvertes; à droite, ces vannes sont fermées. Au milieu, on a figuré la roue séparément, et vous constaterez

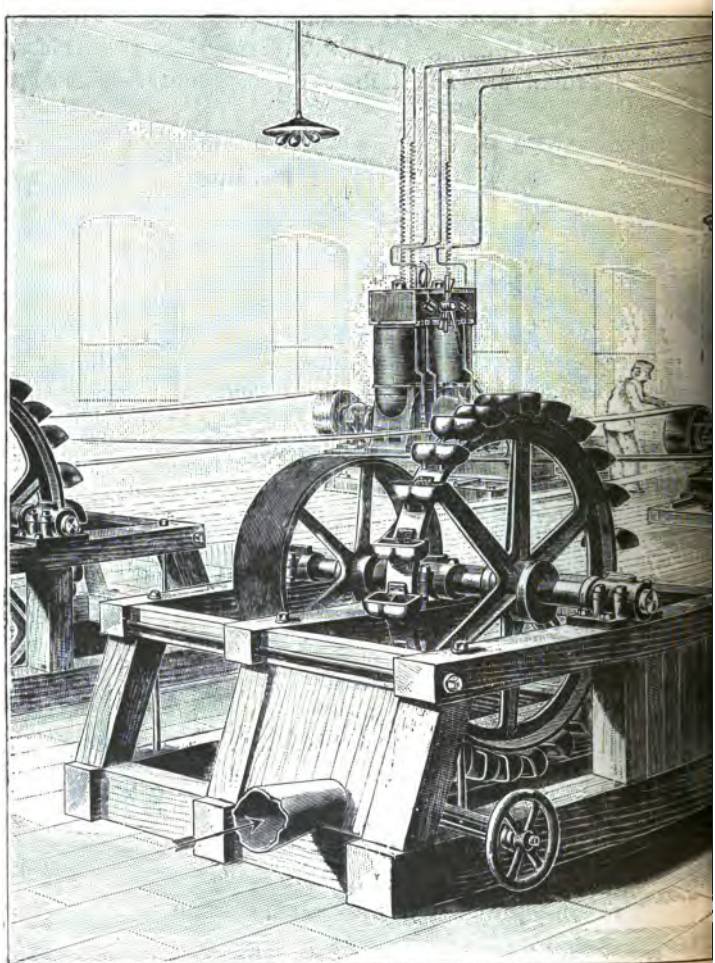
facilement qu'elle se compose de deux parties : la partie supérieure, où l'eau pénètre perpendiculairement à l'axe, et la partie inférieure, où l'eau tombe presque parallèlement à l'axe sur les longues aubes disposées de manière à utiliser le mieux possible l'énergie de la chute. Ces turbines sont classées parmi les meilleures aux États-Unis ; elles sont très énergiques, c'est-

Fig. 10. Fig. 11. Fig. 12.

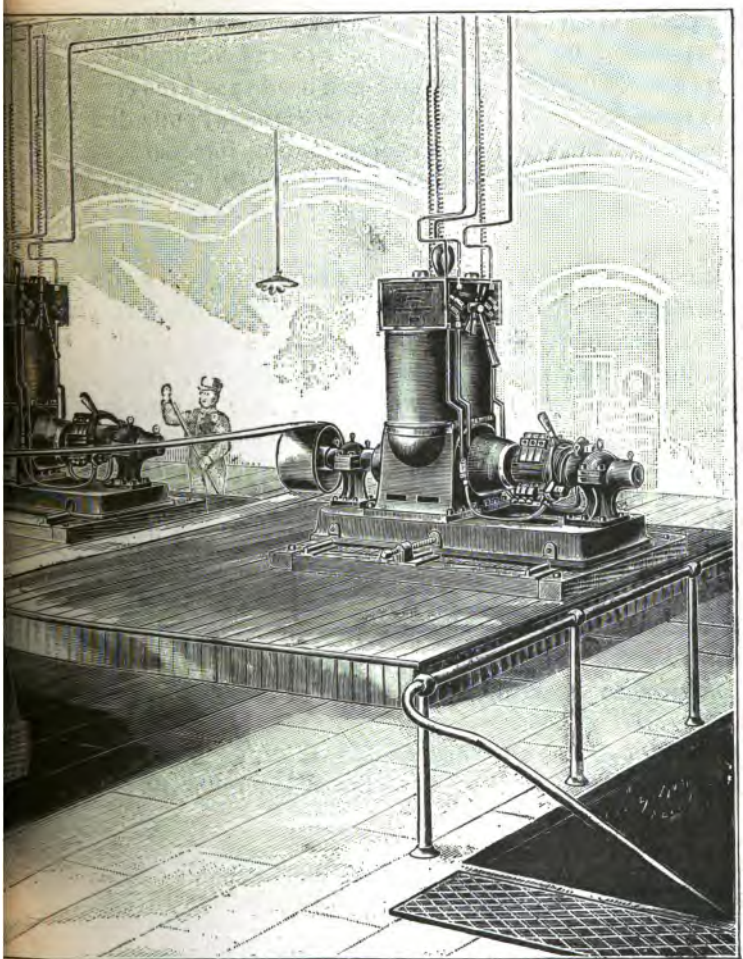


Turbine *Leffel*, type « Samson ».

à-dire capables de produire une grande puissance sous un faible volume. C'est ainsi que, sous une même chute de 10^{m}, des turbines *Leffel-Samson*, de 50^{cm} et de 1^{m} de diamètre, tournant à 440 et à 220 tours, font respectivement 120 et 480 chevaux, avec des débits de 67^{mc} et 266^{mc} par minute. On revendique pour ces turbines, comme pour presque tous les moteurs américains, des rendements très élevés, supérieurs à 90 pour 100 ; mais, comme rien ne justifie théoriquement ces prétentions, et que la mesure des débits de ces turbines est presque toujours effectuée par la méthode très délicate des déversoirs, il est permis de faire quelques réserves à ce sujet, et d'admettre, jusqu'à plus ample information, que les



Roue *Pelton* actionnant des



mos (*Roaring Fork El. C°*).

turbines américaines sont, sous le rapport du rendement, équivalentes à celles de l'Europe. En revanche, les turbines américaines sont, pour la plupart, extrêmement remarquables par la simplicité et la solidité de leur construction, leur bon marché, la facilité de leur installation sur axe vertical ou horizontal, dispositions qui font que l'on n'hésite pas à les employer en toute occasion; aussi bien, par exemple, pour des scieries en forêt que pour les puissances les plus imposantes, — comme à la Hudson River Pulp and Paper C°, Saratoga, où est installée une batterie de turbines Leffel de 6000 chevaux (1).

On compterait actuellement, aux États-Unis, près de 13000 turbines *Leffel*, d'une puissance totale d'environ 550000 chevaux; mais elles ne sont pas les seules : elles ont un grand nombre de rivales (*Alcott*, *Risdon*, *Hunt*, *Humphray*, *Geyelin* (2), *New-american*, *Mac Cormick*, *Victor*, *Swain*, etc.), parmi lesquelles je vous signalerai tout particulièrement la turbine *Hercule*, parce qu'elle est l'une des meilleures, et qu'elle est fort habilement construite en France par M. *Singrün*, d'Épinal. Cette turbine a sa roue très haute partiellement divisée en plusieurs étages, que l'on supprime à mesure que la puissance de la turbine diminue, tout en laissant les autres fonctionner à pleine ouverture. Cette disposition permet de faire varier considérablement la puissance de la turbine sans en diminuer notablement le rendement (3).

Voici un autre appareil, la *roue Pelton*. C'est, comme vous le voyez (*fig.* 13), une simple roue à impulsion recevant par

---

(1) A citer encore la station centrale électrique du *Portland*, à Oregon City, 12800 chevaux, avec 44 turbines *Victor* (*Electrical World*, 7 avril 1894, p. 457).

(2) Employées au Niagara (*Engineering*, 13 avril 1894, p. 480).

(3) Sur les turbines américaines, consulter la *Lumière électrique*, janvier, février, 28 juillet et 4 août 1883, la *Revue générale des Sciences* du 28 février 1894, les Ouvrages de FRANCIS, *Hydraulic Experiments* (Van Nostrand, New York); EMERSON, *Testing of Water Wheels* (Weavera, Springfield); TOWBRIDGE, *Turbine Wheels* (Van Nostrand, New York); BODMER, *Hydraulic Motors* (Whittaker, Londres, 1889), et le *Bulletin de la Société d'Encouragement* d'octobre 1894.

un ajutage l'eau de la chute sur les augets du bas. Ces augets sont (*fig.* 14) divisés au milieu par une cloison convenablement infléchie, qui sépare les jets en deux parties et en améliore considérablement la déviation [1]. Ces roues, dont le principe est, vous le savez, bien connu, sont néanmoins des plus remarquables par leur simplicité et l'extrême rusticité de leur installation, qui leur a valu un grand succès, principalement dans les régions minières de la Californie, où l'on trouve en grand nombre de hautes chutes qui, à partir d'une cinquantaine de mètres, conviennent particulièrement à ce genre de roues.

Le Tableau ci-dessous, dressé pour une chute d'eau de 100^{m}, vous permettra d'apprécier l'énergie de ces roues Pelton.

DIAMÈTRES.	DÉBIT en litres par minute.	TOURS par minute.	PUISSANCE en chevaux.
0^{m},15	190^{lit}	2780	3,60
0 ,30	450	1390	8,40
0 ,46	1330	927	23,3
0 ,61	2380	696	45
0 ,90	5400	463	101 (*)
1 ,20	9620	346	180
1 ,50	15000	277	280
1 ,80	21600	231	405 (**)

(*) Prix, 1600^{fr}.
(**) Prix, 3100^{fr}.

Leur rendement s'élèverait, sous toutes réserves, à 85 et même à 87 pour 100.

En Californie, ces roues sont fréquemment employées pour faire tourner des dynamos qui transmettent leur énergie électrique à la mine, située souvent à une grande altitude, pour

(1) *Voir* aussi les brevets américains de M. *Bookwalter,* n°s 469959 et 509863 de 1893.

l'éclairage, l'actionnement des treuils, des pompes, des perforatrices, des locomotives de roulage, etc. C'est l'une des applications les plus heureuses de la transmission de force par l'électricité : elle a permis d'utiliser la puissance des chutes d'eau à des altitudes presque inaccessibles au bois et au charbon, et rendu très profitables des exploitations auparavant impraticables. Quelques-unes de ces installations sont très

Fig. 14.

Vue, en vraie grandeur, d'un auget de roue *Pelton* de 600^{mm} de diamètre, faisant 175 chevaux sous une chute de 246^{m}.

importantes. Celle de la Roaring Fork Electrical Power C°, par exemple, à Aspen (Colorado), comprend huit roues Pelton de 600^{mm} de diamètre, faisant chacune 175 chevaux, à 1000 tours par minute, sous une chute de 246^{m}; leur poids est de 40^{kg} (0^{kg},23 par cheval), et vous voyez représenté (*fig.* 14) en vraie grandeur l'un de leurs petits augets.

Au Comstock, — Tunnel Sutro, — l'une des installations comprend six roues de 1^{m} de diamètre : poids 100^{kg}, qui font 125 chevaux chacune, sous une chute de 510^{m}, avec un ajutage de 16^{mm} seulement. Une autre roue, de 915^{mm}, — poids 80^{kg}, — donne 101 chevaux à la vitesse de 1150 tours, avec un ajutage de 13^{mm}, et sous une chute de 630^{m} de haut. C'est une utilisation dont je ne connais pas l'équivalent, et qui montre bien quel parti les Américains savent tirer des machines les plus simples.

Nous allons voir maintenant une nouvelle application de cette qualité dans l'usage si répandu que les Américains font du *moulin à vent*, presque abandonné chez nous.

Ainsi que le montrent les *fig.* 15 à 17, les moulins amé-

Fig. 15.

Fig. 16.

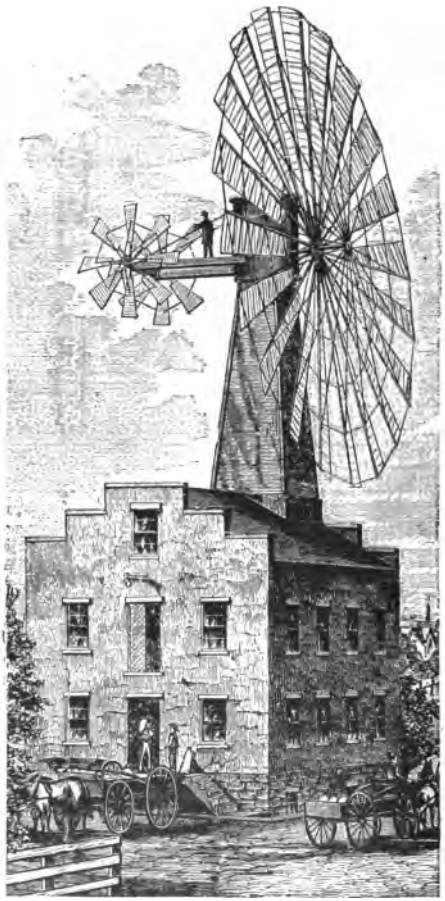
Petit moulin « Gem », type *Halladay*, de la *U. S. Wind Engine and Pump C°*, Batavia (Ill.), monté sur tours en acier.

Jusqu'à 18^{m} de haut, et pour des roues de 3^{m},60 de diamètre, ces tours coûtent 20^{fr} et pèsent à peu près 22^{kg} par mètre. Avec un vent moyen de 25^{km} à l'heure, un moulin de ce type, de 3^{m} de diamètre, fait 300 tours par minute et développe environ 1 cheval ; prix, avec ailes en tôle d'acier, 300^{fr} ; poids, 450^{kg}.

ricains ne rappellent que de très loin l'imposante construction des moulins hollandais. Ce sont des appareils très légers, portés sur des trépieds en fer ou en acier, excessivement légers aussi, bien que capables de résister aux plus

fortes bourrasques (¹). Leurs ailes, en bois ou en tôle d'a-

Fig. 17.



Moulin *Halladay*.

De 18m de diamètre; fait, avec un bon vent, 150 tours et 40 chevaux; en moyenne, 30 chevaux; poids, 15.000kg. Prix, 15.000fr.

(¹) Ces trépieds atteignent jusqu'à 50m de haut (*Scientific American*, 7 avril 1894, p. 217). Certains d'entre eux peuvent basculer, de manière à amener le moulin à terre pour la visite et le graissage (*Perry*, brevet américain 485883 de 1892).

cier, peuvent, dans les grands appareils, se replier automatiquement pour céder aux vents trop forts; et ils s'orientent automatiquement, soit par un simple gouvernail, soit, pour les grands appareils (*fig.* 17), par un petit moulin régulateur monté sur la queue du gouvernail. Les détails de construction de ces appareils sont admirablement étudiés au point de vue de la durée, de la rusticité, de la facilité d'entretien, de graissage et de réparation, et mériteraient, à eux seuls, toute une étude que je ne puis évidemment pas aborder ici. Je me bornerai donc à vous dire, qu'aux États-Unis, ces moulins sont employés par centaines de mille : plus de 500000 en 1893, pour tous les besoins de l'Agriculture, — irrigation, drainage, petites laiteries et meuneries, — pour le service des eaux des stations de chemin de fer et des villages, l'éclairage électrique par accumulateurs (1), etc. Il est certain que l'emploi de ces appareils pourrait rendre chez nous, à bien des maraîchers des environs de Paris par exemple, les mêmes services qu'aux fermiers des États-Unis, et que l'on ne voit pas la raison de leur peu d'emploi en France, bien que leur fabrication ait été entreprise par quelques constructeurs français (2).

IV.

Parmi les principales applications de la Mécanique générale, il faut citer, aux États-Unis comme chez nous, les pompes à vapeur, notamment les *pompes à action directe* et les *pompes à incendie*, dont l'emploi s'est bien plus étendu là-bas que chez nous, jusque dans les villages, où l'on trouve facilement des hommes familiarisés avec leur usage, tant la pratique de la Mécanique est véritablement populaire en Amérique.

---

(1) *Electrical World*, 3 février 1894, p. 57.

(2) Notamment par MM. *Beaume* (moulin Corcoran), *Schabaver* (moulins Halladay), *Rossin, Weinberger*, etc. Consulter, sur les moulins américains, l'Ouvrage de WOLFF, *Windmills* (J. Wiley, New York), celui de G. RICHARD, *Les Moteurs secondaires à l'Exposition de* 1889 (Paris, Bernard), et le *Bulletin de la Société d'Encouragement* d'octobre 1894.

Au premier rang, parmi les pompes à action directe, il faut citer, aux États-Unis, celles de *Worthington*, bien connues en France depuis l'Exposition de 1889. La *fig.* 18 représente les principales particularités du type horizontal de ces pompes de grande puissance, tel qu'il figurait à de nombreux exemplaires dans le Palais des Machines de l'Exposition de Chicago. Les cylindres à vapeur, ou cylindres moteurs de haute et de basse pression, sont, comme vous le voyez à gauche de cette figure, disposés l'un à la suite de l'autre, ou, comme on dit, *en tandem*, avec leurs pistons calés sur la tige même du piston de la pompe, que vous voyez à droite de la figure. La distribution de la vapeur se fait aux cylindres moteurs par des robinets *Corliss-Wheelock*. La vapeur traverse : 1°, avant d'arriver au petit cylindre de haute pression, un sécheur, représenté en haut de la figure, et qui la débarrasse de l'eau entraînée; 2°, en allant du petit au grand cylindre, un surchauffeur constitué par des tubes autour desquels elle circule et que parcourt la vapeur vive de la chaudière. Du grand cylindre, la vapeur s'échappe dans un condenseur par injection, dont la pompe à air est commandée, de la tige des pistons, par le renvoi de mouvement que vous voyez à droite de la figure.

On a donc, de ce côté, épuisé toutes les sources d'économie de vapeur : détente compound, séchage, surchauffe et condensation. Il restait à assurer la régularité du fonctionnement de la pompe sans l'interposition de l'énorme volant caractéristique de la plupart des pompes de nos services municipaux : M. Worthington y est parvenu à l'aide d'un dispositif compensateur bien connu des mécaniciens, et sur lequel je vous demanderai la permission d'insister un peu, tant il est simple et véritablement ingénieux.

Le problème à résoudre était celui-ci : faire que la résistance opposée par le piston de la pompe fût sensiblement égale, en chaque point de sa course, à la somme des poussées de la vapeur sur les pistons moteurs en ce même point de la course. Or, la pression de la vapeur varie, diminue par sa détente, du commencement à la fin de la course, tandis que celle de l'eau sur le piston de la pompe reste invariable. Il a donc

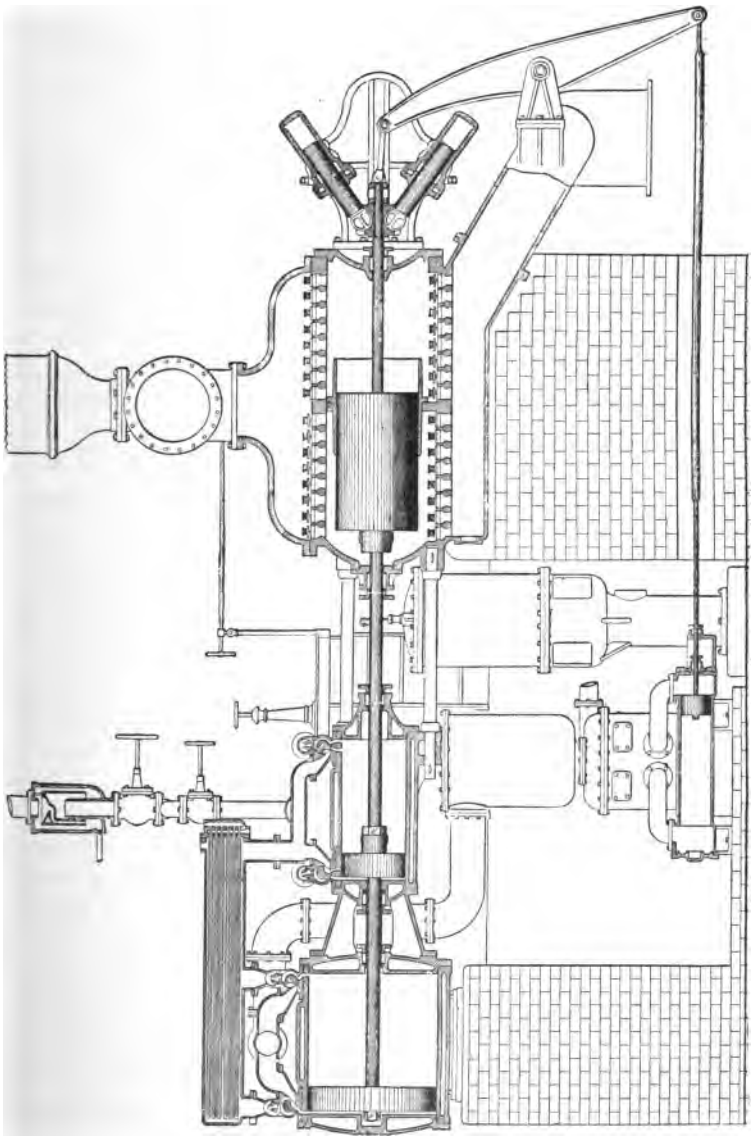


Fig. 18. Pompe horizontale compound *Worthington*.

fallu ajouter à cette résistance une résistance variable comme la pression même de la vapeur; et c'est là, précisément, le rôle des deux petits cylindres inclinés que vous voyez à droite de la *fig.* 18. Chacun de ces cylindres peut pivoter autour d'un tourillon central, et leurs pistons, articulés à la tige de la pompe, sont constamment chargés par une pression d'eau invariable : celle même, par exemple, de la colonne de refoulement. Si, maintenant, vous suivez (*fig.* 20) le mouvement de ces pistons pendant une course de la pompe, de gauche à droite, par exemple, vous voyez qu'à l'origine, dans la position même où les représente la *fig.* 18, ces pistons, très inclinés sur la tige, exercent sur elle leur poussée la plus grande, et cela, au moment même où la vapeur développe son plus grand effort; puis, à mesure que cette pression diminue, l'inclinaison des cylindres compensateurs diminue aussi, ainsi que leur résistance, jusqu'au milieu de la course, point où ils sont verticaux, et où ils n'offrent plus au mouvement de la pompe aucune résistance. A partir de ce point, la pression de la vapeur diminuant toujours, l'inclinaison des cylindres compensateurs change de sens, ainsi que leur effort, qui, d'une poussée résistante, devient, sur la tige de la pompe, une traction auxiliaire, laquelle s'ajoute à l'effort de la vapeur, en augmentant à mesure qu'il baisse, de manière à en compenser uniformément la diminution jusqu'au fond de la course. La même série d'opérations se répète, avec les mêmes résultats, pendant la course de retour, ou de droite à gauche; de sorte que l'on obtient ainsi, comme le montrent plus en détail les diagrammes des *fig.* 19, 21 et 22, une compensation presque parfaite. En outre, ces cylindres compensateurs agissent aussi comme organes de sûreté. Dans le cas, par exemple, d'une rupture du tuyau de refoulement, les pistons compensateurs cessent subitement d'agir, et la pompe, incapable d'aller jusqu'au fond de sa course sans le secours de ces pistons, s'arrête d'elle-même, sans pouvoir s'emporter. Ce cas s'est présenté plusieurs fois. Enfin, l'on peut, avec ces compensateurs, marcher beaucoup plus vite qu'avec les volants, sans être obligé de diminuer la détente de la vapeur à mesure que la vitesse de la pompe se ralentit. Avec les volants, au contraire,

on ne peut guère obtenir tout le bénéfice des grandes détentes qu'en pleine marche normale de la pompe. En un mot, on dispose ainsi, sans nuire à son économie, d'une élasticité

Fig. 19

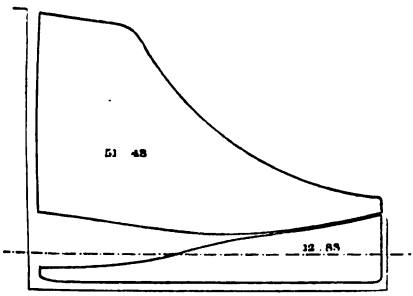
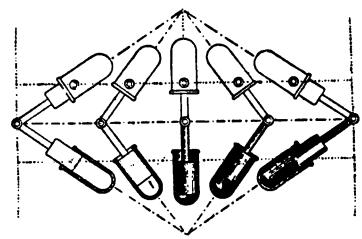


Fig. 20.



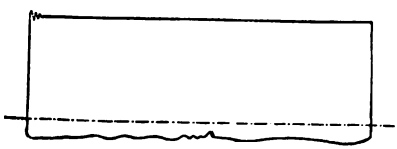


Fig. 21.

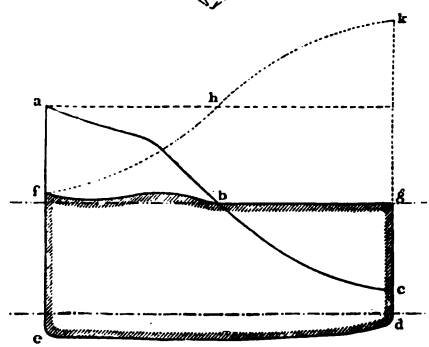


Fig. 22.

Fig. 19 à 22. — Fonctionnement du compensateur *Worthington*.

La *fig.* 20 représente les différentes positions prises successivement par le compensateur pendant une course. La *fig.* 19 donne les diagrammes du petit et du grand cylindre à vapeur pendant une course, et la *fig.* 21 le diagramme de la pompe. On a représenté, dans la *fig.* 22, par *fhk* la courbe des efforts horizontaux exercés par le compensateur sur la tige de la pompe pendant une course de gauche à droite, — efforts résistants de *f* en *h*, et moteurs de *h* en *k*, — par *abc* l'effort total des deux cylindres moteurs résultant de la somme des diagrammes de la *fig.* 19, et par *fbgde* le diagramme, résultant des courbes *abc* et *fhk*, du travail réel exercé sur le piston de la pompe, diagramme qui correspond presque en tout point avec celui de la résistance (*fig.* 21).

beaucoup plus étendue dans la marche de la pompe; condition des plus précieuses pour les services à débits très variables.

Citons encore, comme détails à noter des pompes *Wor-*

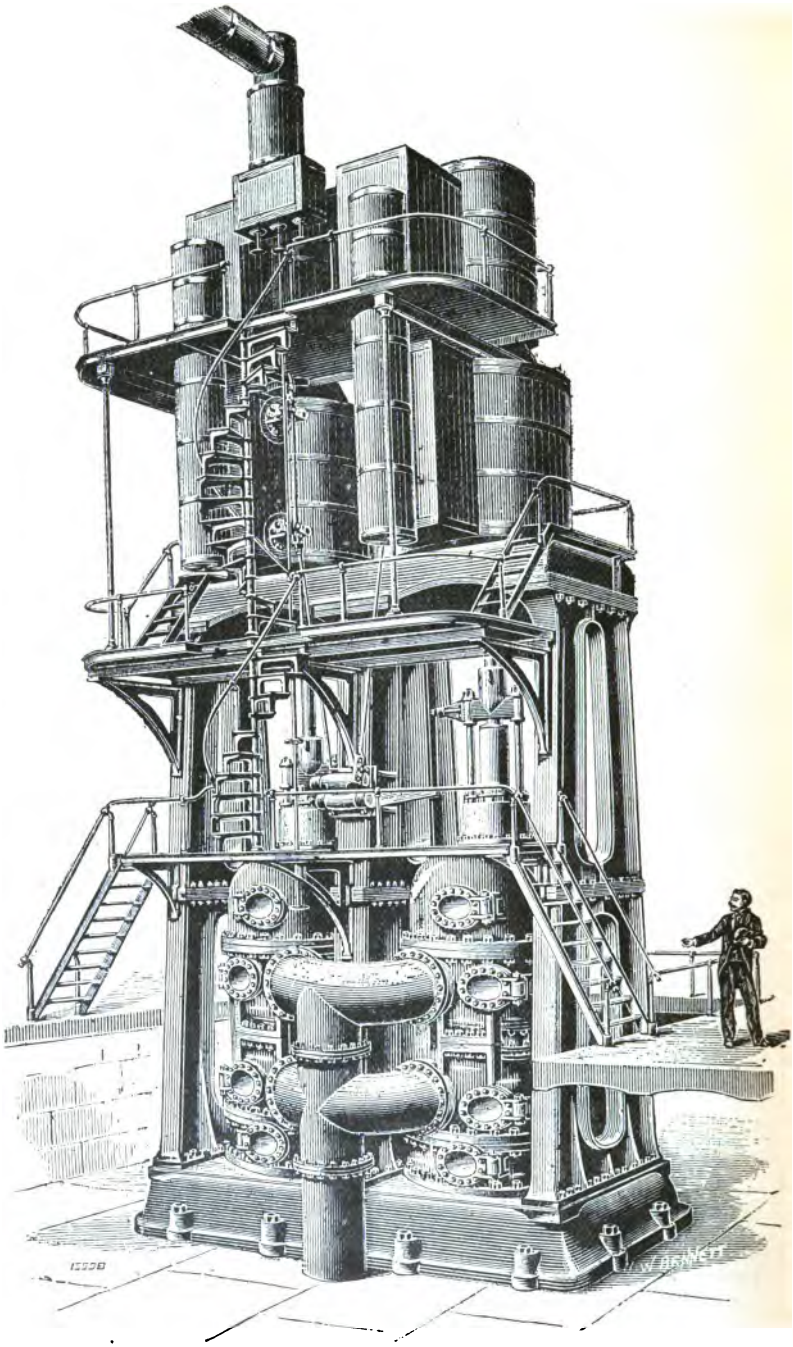


Fig. 23. — Pompe *Worthington* compound de l'Exposition de Chicago.
Débit : 57000^{mc} en vingt-quatre heures.

thington, l'emploi de clapets d'aspiration et de refoulement très nombreux, en caoutchouc armé, battant sur sièges en bronze, et, pour les grands appareils, celui d'un réservoir d'air alimenté par un petit compresseur.

Ces pompes sont très répandues dans le monde entier, et commencent à se répandre en France, où elles sont construites par une compagnie française (1).

On évalue à 60 000 environ le nombre des pompes livrées depuis sa fondation (1849) par l'usine américaine de Worthington, y compris 700 usines d'élévation d'eau, d'un débit journalier de plus de 10 millions de mètres cubes. La dépense de charbon, pour les grandes pompes compound, ne dépasse guère $0^{kg},800$ par cheval-heure effectif, et leur rendement, ou le rapport du travail indiqué au travail en eau montée, atteint 93 pour 100.

A l'Exposition de Chicago, le service de la distribution de l'eau employait 12 pompes *Worthington,* pouvant fournir 240000^{mc} par jour. Deux de ces machines, du type vertical compound représenté par la *fig.* 23, à cylindres de 760^{mm} et $1^{m},53$ de diamètre sur $1^{m},58$ de course, pouvaient débiter chacune 57000^{mc} par jour (2).

Les pompes *Worthington,* bien que prédominantes aux États-Unis, n'y sont pas sans rivales; parmi ces dernières, il faut citer celles de *Gaskill,* d'*Allis,* de *Deane,* de *Burnham,* de *Blake,* de *Leawitt,* de *Maxwell,* et de la *Buffalo Steam Pump C°.*

Les *pompes à incendie* à vapeur ont été étudiées tout particulièrement aux États-Unis. Elles se distinguent des nôtres par une foule de détails de construction, parmi lesquels je vous signalerai surtout l'emploi de chaudières à tubes d'eau

---

(1) Parmi les installations les plus remarquables des pompes *Worthington,* on peut citer celles de la Standard Oil, à Swartout, refoulant du pétrole, sous une charge de 60^{atm}, dans un tuyau de 150^{mm} de diamètre et de 50^{km} de long (*Engineering,* 2 octobre 1891, p. 301).

(2) Pour plus de détails sur les pompes *Worthington,* consulter BERTHOT, *Traité de l'élévation des eaux* (Paris, Baudry, 1893), ainsi que les brevets anglais n° 16707 de 1893 et américains 451148 et 455555, de 1891; 504644, de 1893.

inexplosibles, chauffées parfois au pétrole (*Clapp et Jones*, *La*

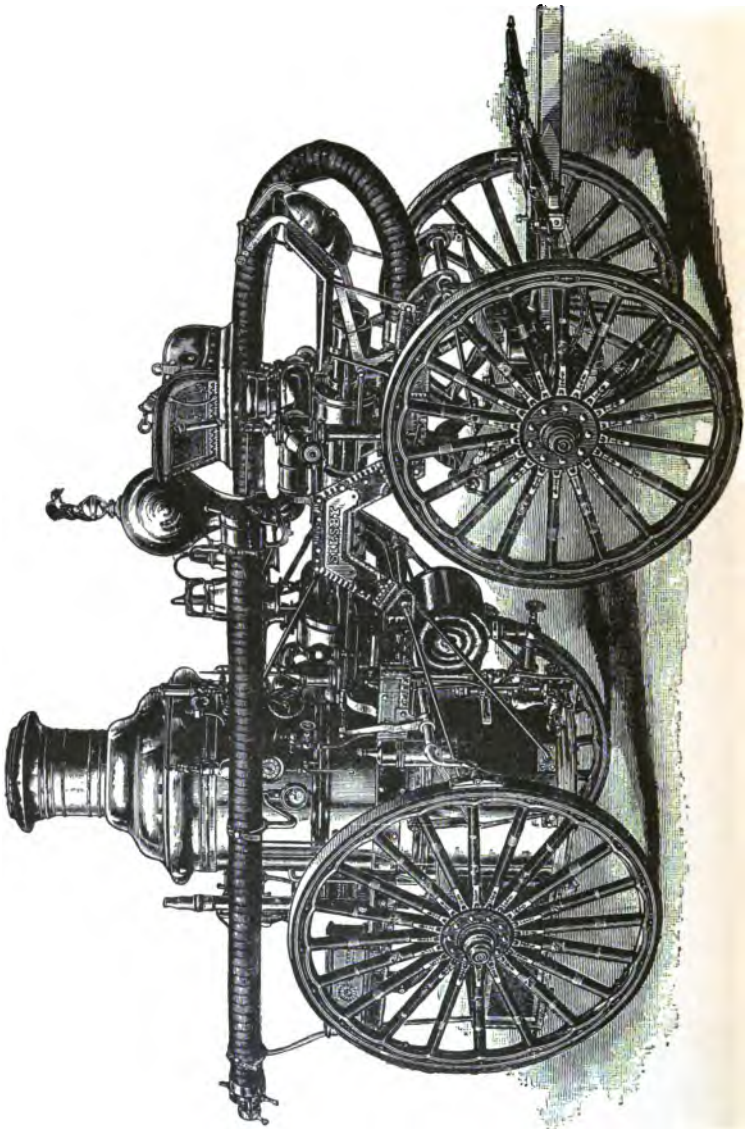
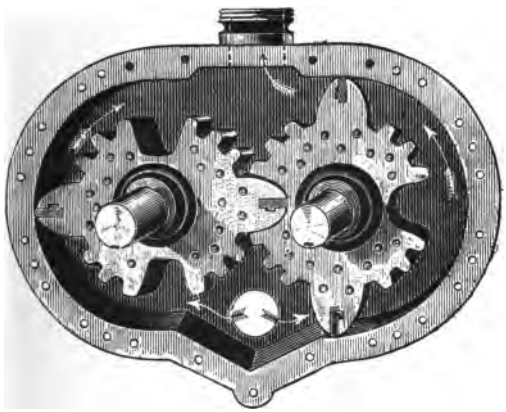


Fig. 24. Pompe à incendie rotative *Silsby*.

France, *Ahrens*), et l'emploi de pompes rotatives. Les *fig*. 24

à 28 vous représentent l'un des types les plus usités de ces

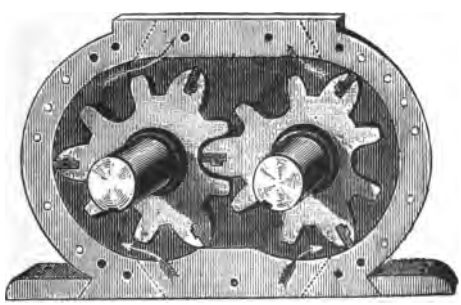
Fig. 25.



Pompe à incendie *Silsby;* cylindre à vapeur.

pompes rotatives : celle de *Silsby*, construite par l'*American*

Fig. 26.



Pompe à incendie *Silsby;* cylindre de la pompe.

Fire Engine C°, de Seneca Falls. Le sens des flèches indique très clairement le passage de la vapeur et de l'eau dans les deux cylindres de cette pompe, et suffit à en faire comprendre le fonctionnement très actif, très doux, et sans aucune trépidation. Les garnitures des cames, constituées par des barrettes

de bronze pressées sur les parois des cylindres par des res-

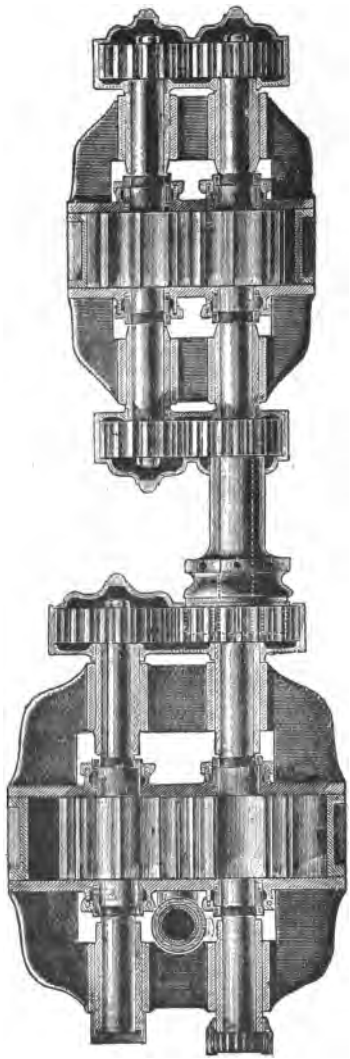


Fig. 27. Fig. 28.

Pompe à incendie *Silsby*, coupée par l'axe des cylindres à vapeur et de la pompe.

sorts, peuvent se retirer facilement au moyen de regards mé-

nagés dans les cylindres. Les arbres qui portent ces cames sont (*fig.* 27) conjugués par des engrenages qui en assurent la concordance parfaite. Le fonctionnement de ces pompes rotatives et sans clapets est, en raison de sa continuité, d'une douceur telle qu'elles peuvent refouler l'eau au travers de tuyaux de toile ayant jusqu'à 900^{m} de long sans risque de les crever : elles méritent donc, à tous égards, d'attirer l'attention.

Je vous signalerai encore, dans le domaine des pompes à incendie, quelques essais, notamment ceux d'*Amoskeag* (1), tentés pour les rendre automobiles; l'emploi assez fréquent, et sur une grande échelle, d'extincteurs chimiques, à acide carbonique ou à air comprimé, montés sur roues, comme les pompes, et toujours prêts à marcher (*Babcock*, *Granger*, *Holloway*, *Lindgren*).

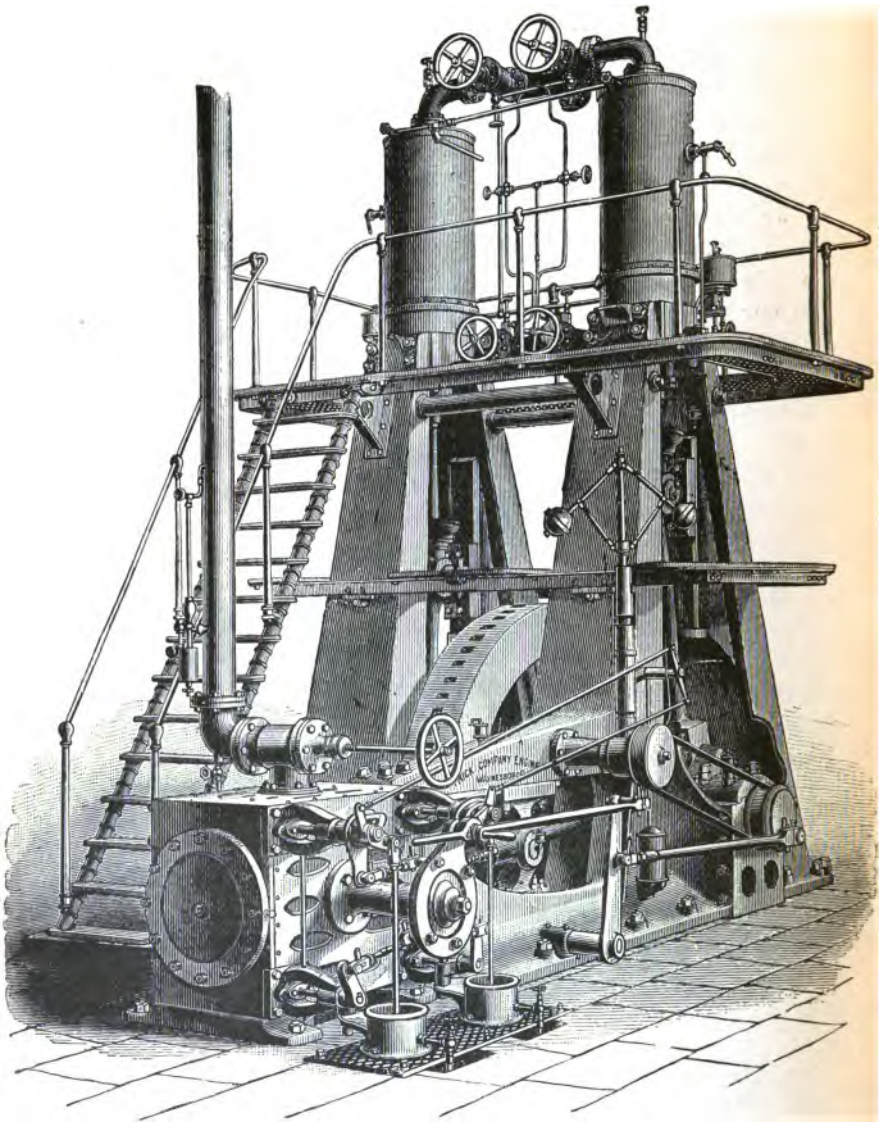
V.

Dans aucun pays, on ne fait un usage aussi universel de la glace qu'aux États-Unis ; aussi l'industrie des *machines frigorifiques* s'y est-elle développée plus que partout ailleurs, dans des proportions parfois véritablement extraordinaires (2). Là aussi, l'on n'emploie guère, pour produire le froid, que les machines à gaz ammoniac : quelques-unes à absorption, et presque toutes à compression. Contrairement à la pratique européenne, les cylindres compresseurs de ces machines sont, aux États-Unis, presque toujours verticaux, à simple ou à double effet (*Frick*, *Lavergne*, *Boyle*, *Case*, *Wood*, *Featherstone*, *Arctic C°*, *Hercule C°*, *York Manufacturing C°*, etc.), aussi bien pour les plus grandes installations que pour les appareils domestiques, comme ceux de *Ballantine*. La *fig.* 29

(1) *Appleton's Cyclopedia.*

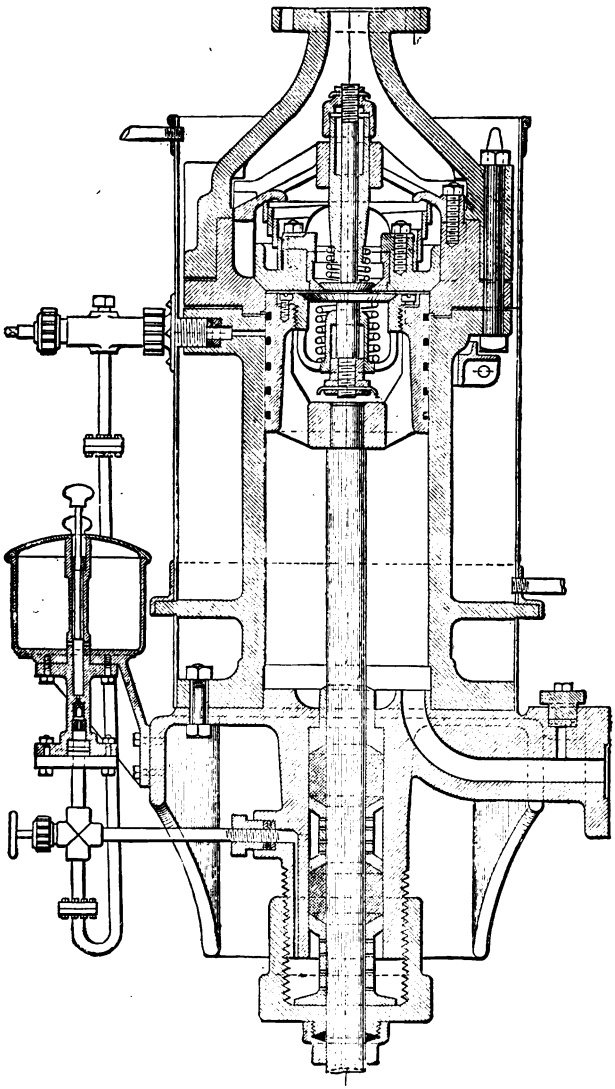
(2) Exemple : à Chicago, MM. Swift and C° (abattoirs) ont une installation de 28 machines Linde, dont 26 de 50 tonnes et 2 de 100 tonnes : soit une capacité de 1500 tonnes de glace par vingt-quatre heures.

Fig. 29.



Machine frigorifique *Frick*, de 4500^{kg} de glace à l'heure.

Fig. 30.



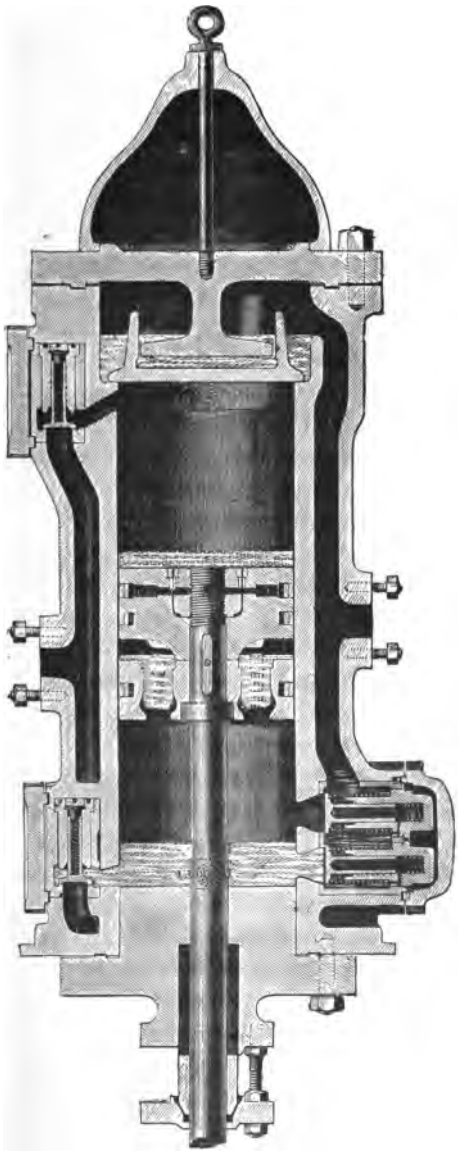
Cylindre compresseur à simple effet d'une machine *Frick*.

représente l'un des types de ce genre des plus fréquemment

employés aux États-Unis. C'est une machine de 220 chevaux; son poids est de 86 tonnes, elle fait 50 tours par minute. Ses compresseurs, à simple effet (*fig.* 30), ont $0^{m},50$ de diamètre sur 1^{m} de course; elle peut faire 4500^{kg} de glace à l'heure, avec une dépense d'environ $0^{kg},10$ de charbon par kilogramme de glace, et une circulation de 700^{lit} d'eau de refroidissement par minute autour des serpentins de ses condenseurs. Ainsi que vous le voyez sur la *fig.* 30, le gaz ammoniac aspiré dans le bas cylindre, au travers d'un clapet de retenue, passe, lorsque le piston redescend, dans le haut du cylindre par la soupape logée dans l'intérieur même de ce piston; puis, lorsque ce piston remonte, il refoule l'ammoniac au condenseur, au travers de la soupape qui ferme le haut du cylindre. Les deux soupapes sont parfaitement accessibles, et montées de façon qu'elles ne puissent pas tomber dans le cylindre et en provoquer la rupture. L'espace nuisible est pratiquement nul, parce que le piston peut venir, à la fin de sa course supérieure, jusqu'à toucher légèrement le fond de sûreté du cylindre, constitué par une seconde soupape enveloppant la première, et chargée par un puissant ressort. Le cylindre est entouré d'une enveloppe d'eau à circulation assez active pour permettre de marcher sans craindre la surchauffe du gaz ammoniac, et sans employer d'huile au cylindre pour le graissage du piston. Cette marche sans huile dispense de tous les accessoires : séparateurs et épurateurs, nécessaires pour débarrasser l'ammoniac de l'huile entraînée dans sa circulation; c'est l'une des caractéristiques, en apparence très heureuse, des machines *Frick,* et que l'on retrouve d'ailleurs sur quelques autres machines américaines, notamment sur celles de la *York Manufacturing C°.*

Nous allons voir maintenant sur la *fig.* 31, qui représente le cylindre d'une machine frigorifique *Lavergne* à double effet, l'application d'un principe tout différent : le graissage et le refroidissement du cylindre, ainsi que la suppression des espaces nuisibles, par l'emploi d'une abondante circulation d'huile, incessamment renouvelée. Sur la figure, à mesure que le piston s'élève, il aspire de l'ammoniac par la soupape représentée au bas et à gauche du cylindre, et refoule l'ammo-

Fig. 31.



Cylindre de machine frigorifique *Lavergne* à double effet.

Diamètre 430mm, course 1m. Une machine à deux cylindres — 300 chevaux — marchant à 44 tours par minute, fait 6 tonnes de glace à l'heure; elle exige, par minute, 900lit d'eau de circulation à 15°.

niac qui se trouve au-dessus de lui par la grande soupape, qui forme, à elle seule, le fond supérieur du cylindre. Quand le piston arrive au bout de sa course supérieure, la couche d'huile qui le recouvre file par cette soupape, en supprimant ainsi absolument tout espace nuisible. Au retour, pendant sa course descendante, le piston va aspirer au cylindre de l'ammoniac par la petite soupape supérieure de gauche, en même temps qu'il refoule, par les deux soupapes horizontales de droite, l'ammoniac qui se trouve au-dessous de lui; mais, quand il arrive au bout de cette course, après avoir dépassé et fermé l'orifice de la première de ces soupapes, il rencontre la couche d'huile qui remplit le bas du cylindre, et cette huile file au refoulement, au travers des deux soupapes que vous voyez logées dans l'intérieur même du piston et de leur canal diamétral, qui débouche précisément alors devant la première de ces soupapes. On voit que, là encore, l'ammoniac se trouve totalement expulsé, sans espace nuisible. Vous remarquerez, comme détail de construction, que la grande soupape supérieure a son creux presque rempli par un piston fixe, qui oblige l'huile à s'en échapper par un étroit canal annulaire, de manière à amortir, par sa résistance aux mouvements brusques, les chocs de cette soupape, dont la marche est, en réalité, extrêmement douce. Les machines *Lavergne,* la plupart à simple effet, sont très répandues aux États-Unis, dans des installations parfois très importantes, comme, par exemple, celle de deux machines de 12000^{kg} de glace à l'heure dans la grande brasserie Pabst, à Milwaukee. On en comptait, en janvier 1893, 440 installations, d'une production totale d'environ 1000 tonnes de glace à l'heure. A l'usine de la *Hygeia Ice C°*, New York, on produit, par vingt-quatre heures, 194 tonnes de glace, avec deux machines de 60 tonnes et une de 90 tonnes, en utilisant, pour obtenir de la glace pure, la vapeur des machines motrices. On fabrique 7^{kg},12 de glace par kilogramme de charbon, ou 17^{kg} par cheval indiqué (1).

Il est bien certain que ces grandes machines verticales, à

(1) *American machinist,* 11 janvier 1894.

marche lente, la plupart à simple effet, sont plus encombrantes et plus coûteuses d'achat que nos machines horizontales à double effet; mais elles s'usent moins vite, leurs cylindres ne s'ovalisent pas, leurs garnitures, dans les machines à simple effet, ne supportent que des pressions insignifiantes ; en somme, elles sont meilleures, et leur prospérité aux États-Unis démontre, une fois de plus, que les Américains n'hésitent pas à payer leurs machines ce qu'elles valent.

VI.

Parmi les *détails de construction* des machines motrices et les mécanismes divers, on peut signaler : pour les moteurs à vapeur, l'emploi presque exclusif des coussinets à métal anti-friction sans joues (ce qui diminue le porte-à-faux des manivelles) plus doux que le bronze, n'usant pas les portées, grâce à sa douceur et parce qu'il y répartit, en raison de son élasticité, très uniformément les pressions; l'emploi assez fréquent et discutable des manivelles en fonte et de courroies excessivement larges, comme l'une de celles de la machine Allis : triple, de $1^{m},80$ de large sur $44^{m},50$ de long, transmettant 1000 chevaux à la vitesse de 30^{m} par seconde. Cette courroie était fournie par la *Page Belting C°*, qui en exposait une autre, de $2^{m},50$ de large et de 61^{m} de long, pesant 5300^{kg}, collée sous une pression de 270 tonnes, et qui a exigé, paraît-il, pour sa fabrication, 570 peaux de bœuf. Ces courroies sont souvent remplacées, dans les grandes usines, par des cordes ou câbles (*fig.* 32), dont les Américains savent parfaitement se servir ([1]), ou, principalement dans les installations électriques, par des courroies articulées, — prototype *Schieren* ([2]), — dont l'extrême souplesse permet de réduire considérablement l'encombrement des installations, sans nuire à leur rendement et sans user trop rapidement les courroies. On remarquait

([1]) Consulter à ce sujet les articles de M. FLATHER dans l'*Electrical World*, 2e semestre de 1893 et 1er semestre de 1894.

([2]) *La Lumière électrique*, 19 novembre et 10 décembre 1887, p. 375 et 504.

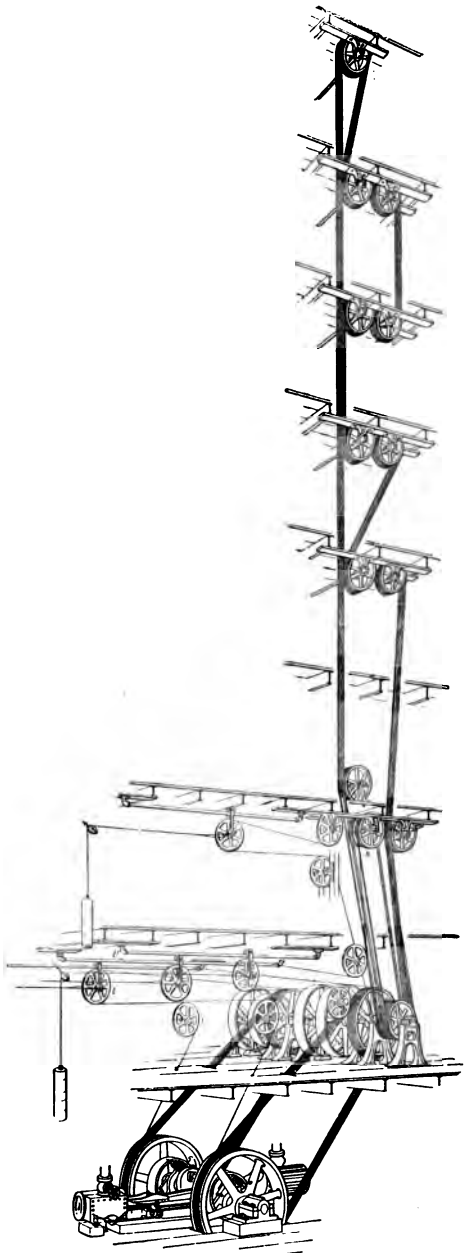
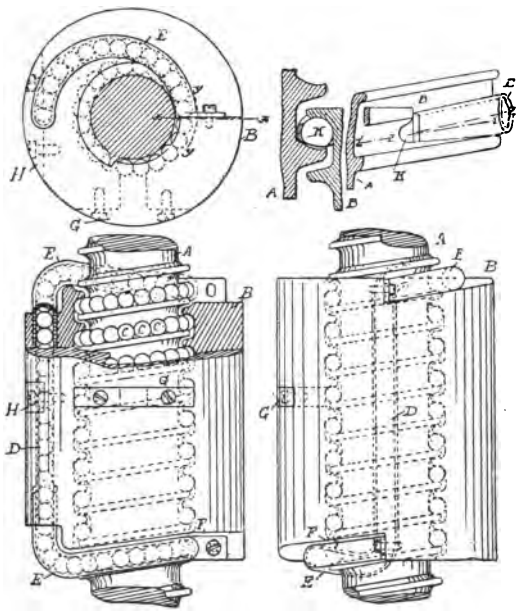


Fig. 32. — Transmission par câbles, d'une puissance de 350 chevaux.

Western Electric C°, de New York. — Diamètre des volants des moteurs 3^{m}, vitesse 125 tours. Deux moteurs de 175 chevaux chacun, avec 6 câbles de 25^{mm} de diamètre.

encore, à l'Exposition de Chicago, un grand nombre d'embrayages, d'accouplements, de paliers, principalement les paliers à billes, et d'autres mécanismes parfois fort ingénieux, mais dont il m'est absolument impossible de vous donner la moindre description. Je me bornerai à attirer tout parti-

Fig. 33.



Écrou *Lieb* (¹).

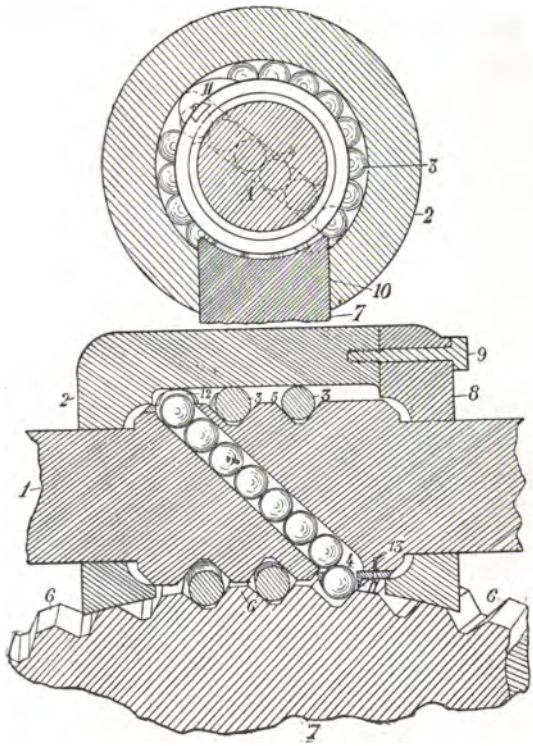
La circulation indéfinie des billes d'un bout à l'autre de l'écrou s'opère par un tube en trois parties E, D, E, dont les embouchures EE se raccordent aux filets B par une languette K, et peuvent s'incliner plus ou moins d'un angle *i* sur le plan *zz'*, tangent au filet en *z*. L'introduction des billes se fait par l'ouverture G, fermée ensuite.

culièrement votre attention sur l'emploi si heureux, et de plus en plus répandu, que les Américains font des billes et des galets, pour réduire considérablement le frottement des axes, des butées, des plateaux. En voici (*fig.* 33 et 34) deux exemples : l'écrou *Lieb* et l'engrenage hélicoïdal roulant de

(¹) *La Lumière électrique,* 13 août 1892, p. 310.

Wellman, particulièrement ingénieux, et qui suffiront pour vous indiquer toute la fécondité de ce principe [1]. Cet emploi

Fig. 34.



Transmission hélicoïdale roulante de *Wellman*.

1, arbre moteur, à palier 2, percé d'un canal, 4, à guides 11 et 12, par lequel les billes 3 reviennent incessamment à leur point de départ, après avoir poussé en roulant les dents 6 du pignon hélicoïdal 7. — 8, couvercle à boulons 9, fermant la boite de la vis.

des billes de roulement est aujourd'hui rendu parfaitement pratique, grâce à la précision extrême avec laquelle on arrive

---

(1) Consulter, sur l'emploi des billes, les quelques documents nouveaux suivants : « The Friction of Ball Bearings » ; Miller, *American machinist*, 3 avril 1890). *Butées* Bassett (brevet américain 508670 de 1893. Purdon et Walters (*Portefeuille économique des machines*, septembre 1893, p. 137; *The Engineer*, avril 1893; brevet anglais 336 de 1893). Currior Snyder

à fabriquer les billes en acier dur, fabrication qui a pris, depuis l'invasion des vélocipèdes, un très grand développement [1].

Les *engrenages* sont toujours parfaitement soignés aux États-Unis. La remarquable machine de *Bilgram* [2] les taille au profil rigoureusement exact. On a, en outre, presque universellement adopté, en Amérique, la graduation *Brown* et *Sharpe* [3] des pas en fonction des diamètres. C'est une *unification* très pratique, qu'il serait fort utile de poursuivre après celle des filetages et des jauges, si heureusement entreprise par notre *Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale* (*Bulletin* d'avril 1893).

VII.

Il me resterait à étudier la partie peut-être la plus intéressante de la technologie mécanique américaine : les *machines-outils* à travailler les métaux et les bois, principalement l'admirable emploi que les Américains font de la fraise et de la meule. Il suffit de vous rappeler le magnifique outillage exposé en 1889 par la maison *Brown et Sharpe*, qui a, en outre,

---

(*American machinist*, 26 oct. 1888). Carver (brevet anglais 738 de 1885). *Paliers* Simonds (brevets américains 466445 de 1891, 501375 de 1893). Pelitt et Congdon (brevet américain 494384 de 1893). *Boîte à graisse* Stearns (*American Journal of Railway Appliances*, 14 oct. 1884, p. 206). *Plate-forme* Suc (*Bulletin de la Société des anciens élèves des Écoles d'Arts et Métiers*, avril 1886). *Vis* Hawkins (brevet anglais 3822 de 1876). *Fauteuils* Lillie (brevet anglais 3355 de 1875). Bazin (*La Métallurgie*, 17 août 1891, p. 1353). *Galets* Cambon (*Portefeuille des machines*, juin 1893, p. 87). Sauvageot (*Revue industrielle*, 31 oct. 1891). Dumoulin (brevet anglais 4291 de 1893).

(1) *Engineering*, 3 nov. 1893, p. 527, et Gustave RICHARD, *Les machines-outils*, t. I, p. 144 (tours de Taylor, Hubert, Cooper, Hoffmann et Hillman). Paris, Baudry; 1894.

(2) *Journal of the Franklin Institute*, janvier 1882, et brevet américain 294844 de 1884. Voir aussi les nouvelles machines de Brainard, Church, Clough, Eberhardt, Grant, Horton, Mertes, Parkes, Slate, Swasey, Walker, Woodward (Gustave RICHARD, *Les machines outils*, t. II).

(3) BROWN et SHARPE, *Formulas in Gearing*, et F. MANDON, *Calcul des Engrenages* (*Bulletin de la Société des anciens élèves des Écoles d'Arts et Métiers*, août 1893, p. 771).

comme vous le savez, la bonne fortune d'être représentée chez nous par l'un des maîtres les plus ingénieux de la Mécanique française, M. *Kreutzberger*, dont les travaux personnels et les inventions ont si grandement contribué à l'amélioration du travail dans nos ateliers; mais j'ai déjà dépassé de beaucoup l'heure permise, et je ne puis guère que vous signaler de nouveau la spécialisation si remarquable de ces machines américaines, leur admirable précision, qui leur permet d'obtenir mécaniquement un ajustage presque mathématique, en économisant, surtout pour les travaux en série, la main-d'œuvre, au point que, malgré l'extrême élévation des salaires, le prix de revient brut de la pièce finie, — matière, main-d'œuvre, — est souvent moins élevé aux États-Unis que chez nous.

On commence à employer, aux États-Unis, les meules en *carborundum* (siliciure de carbone), excessivement dures, qui coupent l'acier trempé avec la plus grande facilité, et dont la matière active raie le verre comme le diamant ([1]).

Il y avait, à l'Exposition de Chicago, quelques machines-outils d'une dimension exceptionnelle, notamment une raboteuse des *Niles Tool Works*, de 9^m de course, à quatre outils, pouvant raboter des pièces de $3^m,50$ de hauteur sur autant de largeur, dont la table, du poids de 25 tonnes, marchait à l'aller à la vitesse de 1^m par seconde, à $2^m,50$ au retour, et qui pesait, au total, 123 tonnes. Mais c'est surtout dans l'outillage des forges que l'on rencontrait des appareils véritablement gigantesques. Tel est, par exemple (*fig.* 35), le marteau-pilon des forges de *Bethlehem*, dont la masse, de 125 tonnes et de 3^m de diamètre, levée par un piston de $1^m,90$ de diamètre, tombait sur une enclume de 250 tonnes; sa hauteur totale est de 27^m et sa largeur de 12^m. Il est desservi par deux grues de 150 tonnes. Cet appareil colossal est pourtant petit à côté de la presse à forger du même établissement, desservie par trois machines de 5000 chevaux, et qui exerce l'énorme pression

([1]) Sur le *Carborundum*, voyez l'article de M. A. HALLER (*Revue générale des Sciences* du 30 septembre 1893), le *Journal of the Franklin Institute* de sept. 1893 et le *Scientific American* du 7 avril 1894.

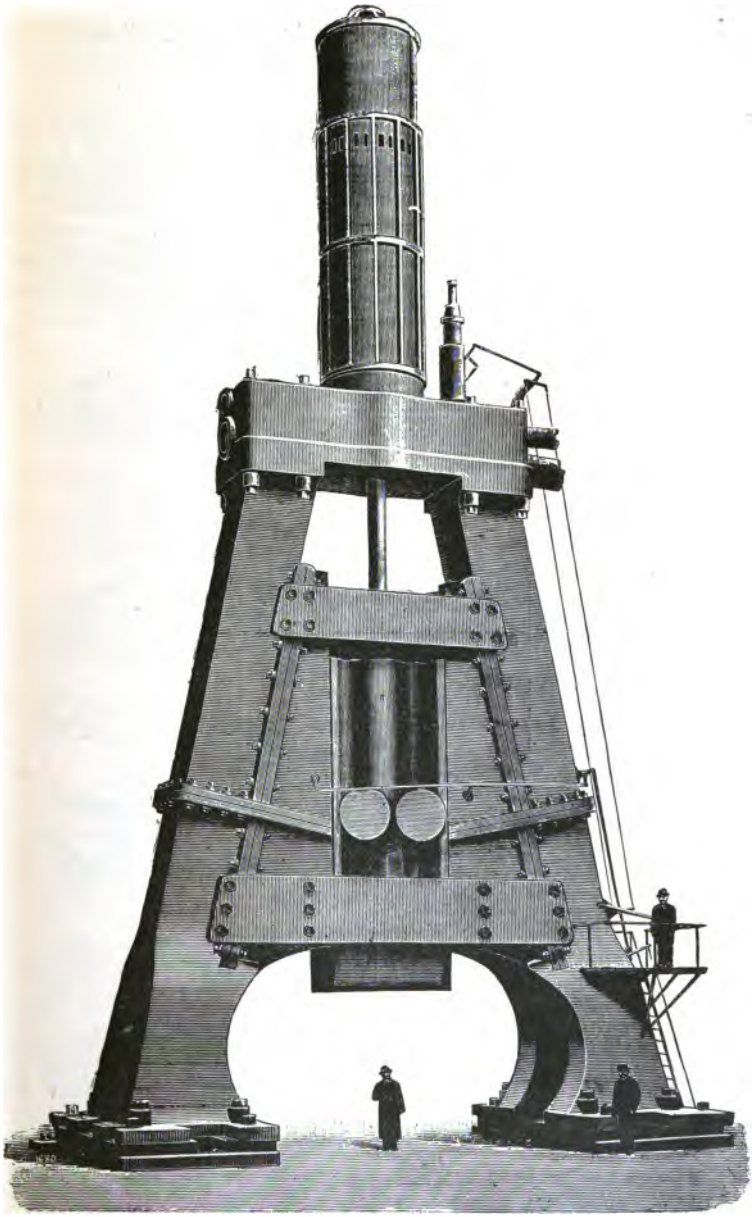
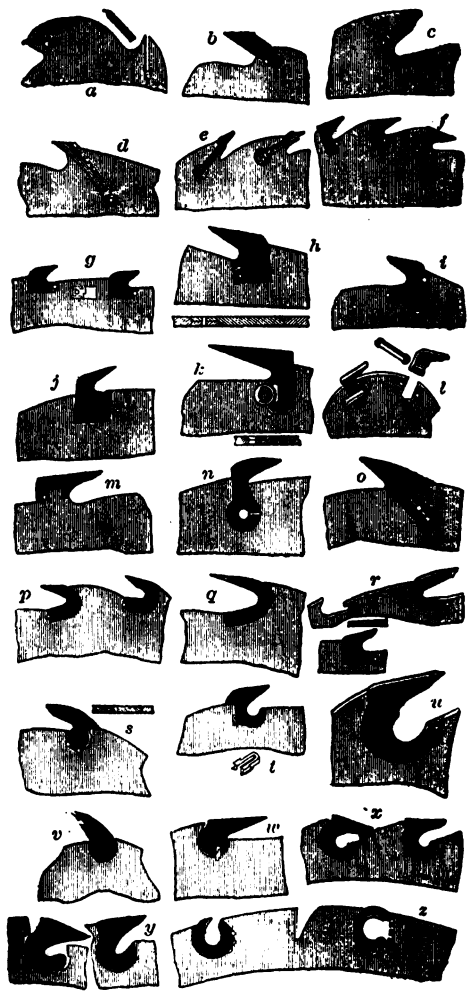


Fig. 35. — Marteau-pilon de 125 tonnes. Fonderie de *Bethlehem*.

de 14000 tonnes, équivalente au poids d'un cube d'eau d'environ 25^{m} de côté.

Fig. 36.

a. Krauser.
b. Colsen.
c. Emerson.
d. Clemson.
e. Lippincott.
f. Spaulding.
g. Emerson.
h. Neale.
i. Emerson.
j. Brown.
k. Clemson.
l. Woodruff.
m. Emerson.
n. Disston.
o. Shoemaker.
p. Emerson.
q. Emerson.
r. Emerson.
s. Disston.
t. Disston.
u. Hoe.
v. Strange.
w. Humphrey.
x. Miller.
y. Disston.
z. Miller.



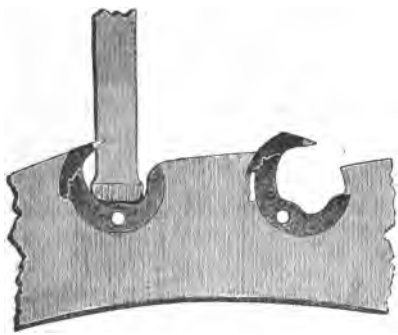
Types de scies américaines à dents rapportées.

Parmi les machines à bois, je ne puis aussi que vous rappeler celles que vous avez vues fonctionner à l'Exposition

de 1889, notamment celles de la maison *Fay*. Ces machines permettent d'exécuter à peu de frais des menuiseries d'un ajustage rigoureux et des moulurages d'un fini remarquable, notamment les moulureuses de *Goehring*, dont les outils équilibrés marchent à 10000 tours.

Enfin, je vous signalerai encore, comme très remarquable, l'emploi, presque universel aux États-Unis, de scies à bois avec des dents rapportées, faciles à remplacer et d'un profil spécial pour chaque nature de travail et de bois. Les *fig.* 36

Fig. 37.



Scie *Simonds* avec sa clef d'arrachement.

et 37 vous en présentent quelques types, parmi lesquels ceux de *Disston* et de *Simonds* sont particulièrement appréciés des Américains (1).

VIII.

Me voici arrivé au bout de ma tâche, à la fin de cette sorte de course à la hâte et à bâtons rompus au travers du domaine si vaste de la Mécanique américaine; le moment est venu de conclure, et de vous rendre enfin votre liberté. Je ne saurais, je crois, mieux le faire qu'en essayant de répondre à une question que l'on m'a faite bien des fois depuis mon retour de

(1) Consulter l'Ouvrage de GRIMSHAW, *Saws;* F. Clanton, Philadelphie.

Chicago, et qui se trouve, peut-être, sur les lèvres de beaucoup d'entre vous : les Américains sont-ils vraiment plus forts que nous en Mécanique, et que devons-nous penser de ce prodigieux développement de la Mécanique américaine ?

A cette question, d'apparence bien simple et très précise, mais, en réalité, complexe et confuse, je vous demanderai la permission de répondre un peu vaguement aussi : je répondrai oui et non.

Non, les Américains ne sont pas plus forts que nous en Mécanique, — comme en toute science, — en ce point essentiel que, si l'on posait un problème à une réunion d'ingénieurs et de savants américains ou français, très probablement ce problème serait parfaitement résolu des deux côtés : peut-être d'une façon plus scientifique et plus générale de notre côté, d'une façon plus originale, moins classique, si l'on peut ainsi dire, du côté des Américains. Il y a actuellement quelques grandes nations : l'Allemagne, l'Angleterre, les États-Unis, la France, qui, au point de vue de la culture scientifique et industrielle, sont, en fait, très sensiblement au même niveau ; et, lorsqu'il se manifeste chez l'un de ces peuples, comme c'est actuellement le cas pour l'Amérique, un développement exceptionnel d'une grande industrie, ou de tout un ensemble d'industries, il faut attribuer ce fait non pas à une supériorité intellectuelle ou de race, mais à ce qu'il se rencontre, en ce moment, tout un concours de circonstances géographiques, politiques et sociales très favorables à ce développement.

Les circonstances géographiques : je vous les faisais pressentir au commencement de cette Conférence, lorsque je vous montrais cette grande ville de Chicago, sur les rivages de la Méditerranée américaine, au milieu de l'ancienne prairie, devenue l'immense terre à blé, dont la fertilité, jusqu'à présent sans égale, a permis à l'agriculture américaine de prendre son prodigieux essor, entraînant à sa suite les grandes industries du pays. Ajoutons à cela des richesses minérales de toutes espèces : la houille presque à fleur de terre, le pétrole, le cuivre, le fer, l'or légendaire de la Californie, et vous aurez là un ensemble de circonstances géographiques merveilleusement propices au développement d'un grand peuple.

Parmi les circonstances politiques, il faut bien signaler, au premier rang, cette admirable sagesse qui fait que, depuis une trentaine d'années, malgré la faiblesse apparente du lien fédéral, malgré les intérêts économiques si opposés parfois de ses différents États, ce grand peuple, si ardent, si aventureux aux affaires, reste calme, respectueux de sa constitution si véritablement libérale, et prospère littéralement en pleine liberté; car, pour garder ses 70 millions d'hommes, répartis sur un territoire grand comme l'Europe, il n'y a pas dans tous les États-Unis 20000 soldats. C'est vous dire qu'ils n'ont pas, comme nous, 35 milliards de dette, et l'obligation sacrée, mais terrible, d'entretenir sous peine de mort des armées écrasantes.

Au point de vue social, ils ont des mœurs, des lois, ou mieux des absences de lois très favorables, il faut bien le reconnaître aujourd'hui, à la prospérité, au développement des nations. C'est ainsi qu'ils n'ont pas de lois sur les héritages. Là-bas, la liberté de tester règne absolument, elle est entrée dans les mœurs; la femme américaine n'a pas de dot, et le fils ne compte pas sur l'héritage de son père. En Amérique, un père se juge absolument dégagé vis-à-vis de ses enfants quand il leur a donné l'éducation et les premiers secours indispensables à l'entrée dans la vie, et il se considérerait comme coupable de les élever dans l'idée qu'ils pourront un jour, grâce à sa fortune, vivre à ne rien faire. De là ce fait, qu'aux États-Unis, tout le monde étant habitué à ne compter que sur soi-même, chacun travaille; et vous n'y voyez pas de ces fils de famille, que nous connaissons tous plus ou moins, dont tout l'effort consiste à consacrer le peu d'énergie que leur a laissé leur éducation à solliciter de nos grandes administrations quelque chétif emploi, peu payé, mais sans travail bien pénible, réglé comme un programme, sans responsabilité surtout, leur permettant d'attendre qu'enfin la petite rente libératrice leur arrive comme en dormant, par la mort des parents ou la dot de la femme, et les soulage pour jamais de la nécessité d'être quelqu'un. Je sais très bien que ces idées américaines sont contraires aux sentiments de la plupart d'entre vous; mais, quelles que puissent être à ce sujet les inclina-

tions de nos cœurs, il n'en est pas moins vrai que ces habitudes, plus viriles que les nôtres, constituent, pour la prospérité d'un peuple, au point de vue national, une très grande force, une force qui a contribué et contribue chaque jour non seulement au prodigieux développement de l'expansion américaine, mais aussi à celui d'une autre expansion, non moins remarquable, celle de la colonisation anglaise, à laquelle nous ne pouvons malheureusement pas comparer la nôtre.

Et ce ne sont pas seulement tous les hommes qui travaillent, aux États-Unis, au développement de l'industrie, mais aussi tous les capitaux. L'esprit rentier et fonctionnariste n'existant pas en Amérique, chacun étant obligé de travailler et voulant faire quelque chose par lui-même, il en résulte qu'il n'y a, aux États-Unis, presque pas un dollar qui ne soit en circulation perpétuelle au travers de toutes les industries du pays; tous les capitaux y sont employés en des affaires bonnes ou mauvaises, comme partout, mais laissant là toujours quelque chose au pays. En fait, on peut dire qu'aux États-Unis la fécondité du capital est presque aussi remarquable que celle du sol. Car enfin, là-bas, lorsqu'un chemin de fer trop aventureux ou mal administré fait faillite, n'ayant pas, comme chez nous, la garantie de l'État pour éviter ce malheur, il n'en reste pas moins au pays la voie et le matériel, qui, repris par d'autres Américains plus heureux, contribueront encore au développement du pays. C'est, en somme, de l'argent qui passe de la poche d'un Américain dans celle d'un autre Américain, après avoir créé, malgré tout, une certaine valeur industrielle qui reste acquise au pays, tandis qu'il m'est, je vous l'assure, impossible de voir de quoi la France a bien pu s'enrichir à la suite, par exemple, de la faillite du Panama.

Eh bien, devant tous ces avantages que possèdent actuellement les Américains, devant l'extraordinaire prospérité économique de ce grand pays, devons-nous nous décourager ? Je ne le crois pas, car cette prospérité ne va pas sans certaines ombres au tableau, notamment en ce qui concerne les rapports entre ouvriers et patrons; et surtout, rien ne nous empêche, en profitant des exemples qui nous sont donnés par

les Américains et les Anglais, en nous assimilant de notre mieux ce qu'il y a de bon chez ces peuples prospères, rien ne nous empêche d'arriver, avec le temps et la persévérance, aux mêmes résultats qu'eux, car nous avons chez nous, comme talent et en puissance, tout ce qu'il faut pour cela.

Il faut que notre agriculture renaisse et se développe : c'est, heureusement, encore la première industrie de notre pays, et sa prospérité entraînerait celle de toutes les autres. Je sais bien que cela ne se fera pas en un jour, que notre agriculture est aujourd'hui très malade, mais elle n'est pas morte. Nous pouvons — et c'est ce que l'on fait — venir à son secours temporairement, et pour aller au plus pressé, par des droits protecteurs, puis définitivement en y consacrant une partie de cet argent dont nous ne savons que faire, et surtout en lui appliquant enfin les enseignements de la science agricole. Il y a, pour notre pays, dans les enseignements de cette science, dans les découvertes et les travaux de nos savants, de véritables richesses qu'il serait impardonnable de négliger plus longtemps. Je ne puis évidemment insister comme il le faudrait sur ce sujet : aussi me bornerai-je à signaler, à ceux d'entre vous qui douteraient de son importance, les beaux travaux de l'un des maîtres les plus éminents de ce Conservatoire, M. Aimé Girard, travaux encore trop peu connus, bien qu'ils viennent de recevoir, par l'admission de leur auteur à l'Académie des Sciences, la haute consécration qu'ils méritaient depuis longtemps : lisez-les, et vous verrez que nous n'avons pas à désespérer de l'agriculture française. Et cela est vrai aussi de nos autres industries; car, même en Mécanique, nous faisons, quand nous le voulons, aussi bien, sinon mieux, que les Américains; nos rivaux eux-mêmes le reconnaissent (1).

(1) La Mécanique française n'a été que très faiblement représentée à Chicago : l'exposition coûtait fort cher, sans aucune chance d'un bénéfice quelconque, et les encouragements de notre gouvernement ont été, en ce qui concerne la Mécanique, presque nuls en comparaison de ceux donnés à ses nationaux par le gouvernement allemand. Néanmoins, les mécaniciens français qui sont allés à Chicago, à leurs frais, risques et périls, et pour l'honneur de notre pays, n'ont pas à le regretter; ils ont reçu des étrangers, des Américains notamment, non pas des récompenses officielles, puisque la France s'était mise *hors concours,* mais des témoignages plus

Nos lois, nos mœurs, qui nous empêche de les réformer, lentement sans doute, mais, du moins, sans persister à croire qu'il n'y a de bonnes que nos idées et nos habitudes? Notre argent, qui nous empêche d'en faire un meilleur usage? quelle raison empêche nos financiers d'employer enfin la puissance de leurs capitaux au développement de nos industries? Je n'en vois pas, tandis que je vois, au contraire, bien des motifs qui les y poussent, entre autres, celui-ci, bien simple, et auquel, presque chaque jour, un nouveau krach, petit ou gros, apporte une nouvelle démonstration : qu'il n'y a plus qu'un seul moyen de gagner honorablement et parfois sûrement son argent : l'industrie, car tout ce qui est fondé sur la spéculation pure est fatalement destiné à la ruine par la faillite, ou par des crises sociales que provoquerait nécessairement une stérilité trop prolongée du capital.

Il reste notre armée : la question de la guerre, autrement vaste et complexe, qui ne dépend malheureusement pas de nous seuls. Ce n'est pas, sans doute, un mécanicien qui la résoudra, bien que nous y travaillions à notre manière, avec nos confrères les chimistes, en inventant presque chaque jour des fusils, des canons, des explosifs de plus en plus formidables; mais d'autres maux ont sévi sur la terre, aussi universels, plus terribles et plus déprimants que la guerre, comme l'esclavage, et l'esclavage a disparu. Pourquoi, alors, considérer la guerre comme éternelle, et ne pas admettre qu'un jour aussi elle disparaîtra, ne serait-ce que par l'horreur même qu'elle

---

précieux, leur assurant que, malgré leur petit nombre, et bien que livrés à leurs seules forces, ils ont, pour la plupart, très dignement représenté la Mécanique française. Je ne citerai qu'un seul de ces témoignages, relatif à la machine à vapeur exposée par le Creusot. Le voici, dans son texte original, donné par un ingénieur américain des plus éminents, M. Sweet, l'inventeur de la Straight Line Engine : « It was not only, by far, the best piece of machine work I ever saw, but, up to the present time, I believe it would be utterly impossible to produce the like in this country. » (Extrait de la discussion du Mémoire présenté par M. Henneway : *On the Development of Stationary Engines, as illustrated by those exhibited at the Columbian Exhibition at Chicago,* à l'*American Society of mechanical Engineers,* New York, 10 janvier 1894.) — M. Henneway et M. Holloway ont, comme M. Sweet, rendu hommage à la parfaite exécution de la machine exposée par le Creusot.

inspire de plus en plus, et par la constatation, bien établie aujourd'hui, de l'inanité absolue de ses résultats définitifs pour le vainqueur même. Et, enfin, si nous nous trompons, si la guerre est véritablement la condition fatale des nations, un jour ou l'autre l'Amérique, elle aussi, en subira la dure loi; de sorte que, même dans cette triste hypothèse, la nécessité des choses semble devoir amener, dans un temps plus ou moins long, une sorte d'équilibre entre l'ancien monde et le nouveau.

Donc, Messieurs, ne nous décourageons pas : sachons constater sans envie et sans crainte cette prospérité des États-Unis; profitons des exemples qu'elle nous donne, continuons à travailler avec confiance en nous-mêmes, confiance en notre chère et vieille patrie; et, à ce compte, soyez-en certains, nous pourrons bientôt convier, en pleine sécurité, les Américains eux-mêmes à venir admirer chez nous ce que nous venons d'admirer chez eux. Ce sera, nous l'espérons tous, lorsque la France saluera l'aurore du XXe siècle par cette grande manifestation pacifique et internationale : l'Exposition universelle de 1900.

L'AGRICULTURE EN AMÉRIQUE

(PROCÉDÉS ET MACHINES),

CONFÉRENCE DU 4 MARS 1894 [1],

Par M. Maximilien RINGELMANN,

Professeur à l'École nationale d'Agriculture de Grignon, Directeur de la Station d'essais de machines agricoles.

MESDAMES, MESSIEURS,

Le vaste territoire des États-Unis, quinze fois plus étendu que celui de la France [2], peut être considéré comme un grand plateau central (*fig.* 1) limité à l'est par l'océan Atlantique, et à l'ouest par l'océan Pacifique; entre ce plateau et les océans se dressent de grandes chaînes de montagnes : les Alleghanys, qui partent de l'État d'Alabama, longent ceux du Tennessee et de Carolina, du Kentucky et de Virginia pour se terminer dans la Pennsylvania, à la vallée de l'Hudson; plus à l'est, un dernier massif, celui des monts Adirondack, se dresse au nord du New-York, sur la limite du Vermont.

Vers le Pacifique on trouve deux chaînes de montagnes sensiblement parallèles : au bord de l'Océan, la Sierra-Nevada,

---

[1] Les figures qui illustrent ce compte rendu ont été gracieusement mises à notre disposition par la Direction de la *Revue universelle des inventions nouvelles*, la librairie Mendel, MM. Farjas, Pilter et Duncan.

[2] D'après la statistique du Ministère de l'Agriculture, les superficies totales des territoires sont :

France.....	52 857 199	hectares
États-Unis (États et territoires organisés)..	765 170 888	»

en California, avec les Cascade-Mounts qui se prolongent au nord dans l'Oregon et le Washington, tandis que vers l'intérieur se trouvent les célèbres montagnes Rocheuses dans le Colorado, avec des contreforts traversant les États du Wyoming, de l'Idaho et du Montana. Sur le haut plateau compris entre le Colorado et le Nevada se trouve le grand lac Salé (Great Salt Lake) au nord de l'Utah.

Le grand plateau central, à pente très faible (et par suite

Fig. 1.

Carte générale des États-Unis.

(Les parties ombrées représentent les zones où se pratiquent les irrigations.)

souvent marécageux), est limité au nord par la *Région des lacs* et au sud par le golfe du Mexique; c'est l'ancienne prairie, si fertile dans la plus grande partie de son étendue, traversée par d'importants cours d'eau tels que le Mississipi (le Père des eaux) et ses affluents principaux : l'Ohio à l'est, le Missouri à l'ouest. Là se trouvent localisées : au nord (Dakota, Minnesota, etc.), les grandes cultures de blé; au centre (Illinois, Indiana, etc.), les cultures de maïs, l'engraissement des porcs; à l'ouest (Missouri, Kansas, etc.), les prairies naturelles et l'élevage des bovidés; au sud (Mississipi, Louisiana, Florida, etc.), les cultures de coton, de canne à sucre et de riz.

L'exploitation des ovidés se rencontre dans les régions élevées et sèches de l'Est et de l'Ouest.

L'industrie laitière est, au contraire, très répandue dans les régions humides du Nord-Est et du Canada qui avoisinent les lacs.

La production des fruits est en quelque sorte spécialisée le long du Pacifique, dans le New-Mexico et en Florida; les légumes de primeur en Florida; les cultures de tabac et les cultures maraîchères dans les États de l'Est (Georgia, Carolina, Virginia, Maryland, Pennsylvania, New-York, Massachusetts, New-Hampshire, etc.).

La Région des lacs est très curieuse : elle sépare l'Union du « Dominion of Canada » ; les lacs Supérieur et Michigan se déversent dans le lac Huron, puis l'on trouve successivement le petit lac Saint-Clair, au bord duquel est élevée la ville de Détroit, le lac Érié qui, à partir de la grande cité industrielle de Buffalo, donne naissance à la rivière Niagara; cette rivière, après ses chutes remarquables et les rapides de Whirpool, s'étend dans le lac Ontario; au bord de ce lac, et en Canada, se trouve la ville de Toronto, importante par ses manufactures et ses ateliers de construction. Le lac Ontario déverse enfin ses eaux à la mer par le Saint-Laurent dont le cours souvent rapide baigne Montréal et Québec.

Dans le grand bassin versant du Mississipi, plusieurs parties sont marécageuses et la culture a besoin d'avoir recours à des drainages et à des travaux d'assainissement qu'il nous a été possible d'étudier dans le comté de Kankakee (Illinois); au contraire, sur la côte du Pacifique et dans le Sud, on est obligé de pratiquer des arrosages.

Les irrigations ont pris un grand développement aux États-Unis depuis une vingtaine d'années, lorsque les terres les plus fertiles et les plus faciles à cultiver, qui furent prises par les premiers colons, étaient presque toutes occupées. Les irrigations intéressent la moyenne et la petite culture, les grands propriétaires se livrant surtout à l'élèvage du bétail et à la culture des céréales.

Les méthodes d'irrigation avaient pourtant été importées

par les Espagnols, et l'on en trouve encore de nombreux exemples aux environs de leurs missions du Far-West; ce mode de culture fut délaissé comme exigeant trop de soins et, par suite, de main-d'œuvre. Mais cette question fut reprise lorsque les Américains se trouvèrent en présence de ces vastes territoires infertiles (situés au nord et au nord-ouest du Kansas), qu'il s'agissait de mettre en valeur.

Vers 1890, près de la moitié de l'étendue totale des États-Unis était infertile et alimentait à peine le huitième de la population totale (Texas, New-Mexico, California, Montana, Arizona, Colorado, Nevada, Wyoming, Utah, Nebraska, Idaho, Kansas, Oregon et Washington). L'irrigation fit bientôt de rapides progrès; de 800000^{ha} en 1880, la superficie irriguée s'élevait à 2000000^{ha} en 1886, à 6800000^{ha} en 1891, et l'on estime qu'à la fin du siècle elle sera portée à 14 millions d'hectares dont 8 millions seront, à cette époque, en pleine production.

Actuellement, l'irrigation est surtout développée dans les États de California, Colorado, Wyoming, Montana, Utah, New-Mexico, Arizona et Texas.

De grandes compagnies ou syndicats par actions se sont créés, notamment en Californie, pour établir les travaux de captage et d'amenée des eaux, provenant soit de barrages de cours d'eau, soit de puits artésiens; on compte aux États-Unis plus de 15000 de ces puits, dont les eaux sont destinées aux arrosages des cultures (1).

Dans la plus grande partie de l'Union, les travaux de culture sont effectués par des chevaux ou des mulets; ces derniers sont surtout produits en Canada et tendent à remplacer les chevaux; dans beaucoup de villes américaines, les compagnies de tramways se servent de mulets comme moteurs. Ce n'est que dans le Nord-Ouest, dans la région des forêts, et dans le Sud (Louisiana) que les bovins sont employés aux travaux.

Les véhicules agricoles sont à quatre roues dans l'Union,

(1) *Voir* notre étude sur *les Irrigations en Amérique* (*Revue universelle*, 1894, janvier-février).

sauf dans les États du Sud où l'on trouve des charrettes et des tombereaux désignés sous le nom caractéristique de *voitures du Sud*. Cet emploi des véhicules à deux roues ainsi que des bœufs de travail, dans ces États du Sud, nous porte à croire qu'il est dû à l'influence de nos pères qui furent, du temps de la Régence, les premiers colons de la Louisiane et de la Floride. De même que sur le littoral du Pacifique, notamment en Californie, et sur les frontières mexicaines, où le climat est analogue à celui de l'Espagne, les cultures des arbres à fruits et la pratique des irrigations furent introduites par les missionnaires espagnols.

Nous avons vu que l'industrie laitière est localisée dans les régions humides limitrophes des grands lacs; ailleurs, les bovidés sont élevés dans les prairies naturelles; ils sont quelquefois engraissés en hiver avec du maïs; la pratique inutile de l'écornage est assez répandue (*fig.* 2). L'élevage et l'engraissement des porcs sont également spécialisés dans les pays à culture de maïs.

Ainsi Chicago peut être considérée, dans le Far-West, comme le centre des régions à blé, à maïs, à élevage de bœufs et de porcs. C'est à cette situation privilégiée qu'est due la rapide fortune de cette jeune cité américaine, qui est devenue un grand marché, et en même temps un entrepôt de bois, de grains et de bestiaux, lesquels, en nature ou manufacturés, sont expédiés de Chicago vers les régions de l'Est par les voies navigables ou les chemins de fer.

Certains États sont surtout industriels, comme la Pennsylvania, l'Ohio, l'Indiana (minerais de fer, houille, pétrole), la California, célèbre autrefois par ses chercheurs d'or..., etc., mais la majeure partie de l'Union doit sa richesse à l'Agriculture, et nous nous proposons de résumer dans ce qui va suivre les quelques notes que nous avons pu relever au cours de notre mission en Amérique [1].

---

[1] Consulter nos lettres sur l'Agriculture de chaque État, adressées de Chicago au *Journal d'Agriculture pratique*, t. II, 1893.

I.

Le WASHINGTON, qui occupe l'extrémité nord-ouest de l'Union,

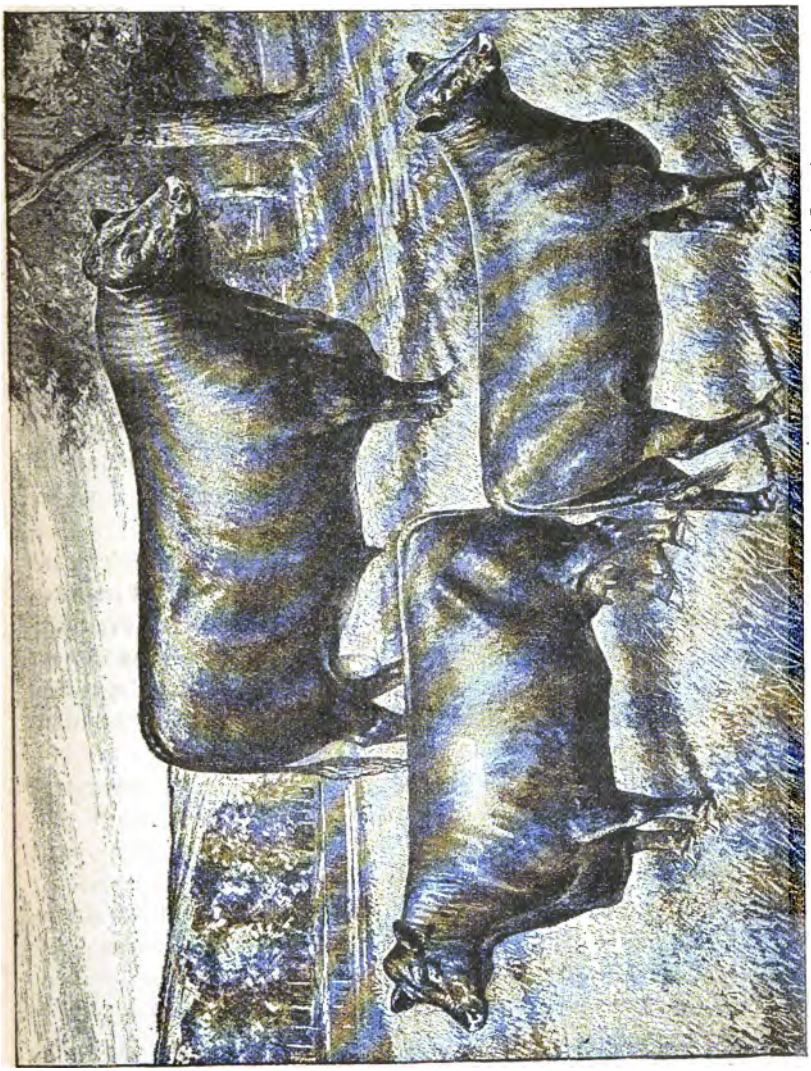


Fig. 2. Troupeau durham (red polled) de M. *J.-H. Gilfillan*, de Marquoketa (Iowa).

est séparé en deux parties par une chaîne de montagnes (les

Cascade-Mounts), dont la direction est nord-sud : le littoral, à l'ouest, où se trouve la capitale Olympia, et le bassin de la Columbia-River à l'est.

Le littoral compte d'importantes cultures d'arbres fruitiers (pommiers, poiriers, pêchers, cerisiers et pruniers) souvent irrigués, des houblonnières (on cite les exploitations où se trouvent les plus grandes houblonnières du monde), des cul tures maraîchères; l'État exporte une grande quantité de pommes de terre.

Par ordre d'importance, les productions principales de l'État de Washington sont : 1° les fruits; 2° l'avoine; 3° l'orge; 4° le blé; enfin 5° le maïs.

Dans cet État, comme en California, on emploie des appareils spéciaux, montés sur chariots, permettant de recouvrir les arbres d'un grand cône en toile afin de détruire les insectes par la fumigation.

Il y a d'importantes forêts qui fournissent des bois d'œuvre remarquables par leurs dimensions (sequoias). Les spécimens de ces sequoias deviennent si rares qu'on a dû les protéger par des lois spéciales.

L'abatage et le débardage des bois des forêts américaines a lieu le plus souvent à l'aide de machines. La *fig.* 3 montre un train de bois tiré par une locomotive routière. En avant de la machine se trouve un treuil qui sert à remonter les troncs d'arbres le long des pentes des *cañons*. Nous verrons que les locomotives routières sont très employées en Amérique pour différents travaux agricoles, et quelquefois elles sont utilisées industriellement aux transports des marchandises aux mêmes prix que les compagnies de chemins de fer (comme par exemple le service régulier entre Farmington et Stockton, en Californie).

Des essais ont été entrepris récemment sur la culture de la betterave à sucre (rendement 62 à 75 tonnes à l'hectare).

Plusieurs compagnies d'irrigation, disposant d'un capital de plusieurs milliers de dollars, se sont organisées dans différentes localités, à l'est des montagnes; les canaux en construction ont une longueur de près de 85^{km}.

Avec les irrigations on obtient de fortes récoltes de grains,

et les prairies artificielles de luzerne (que les Américains dé-

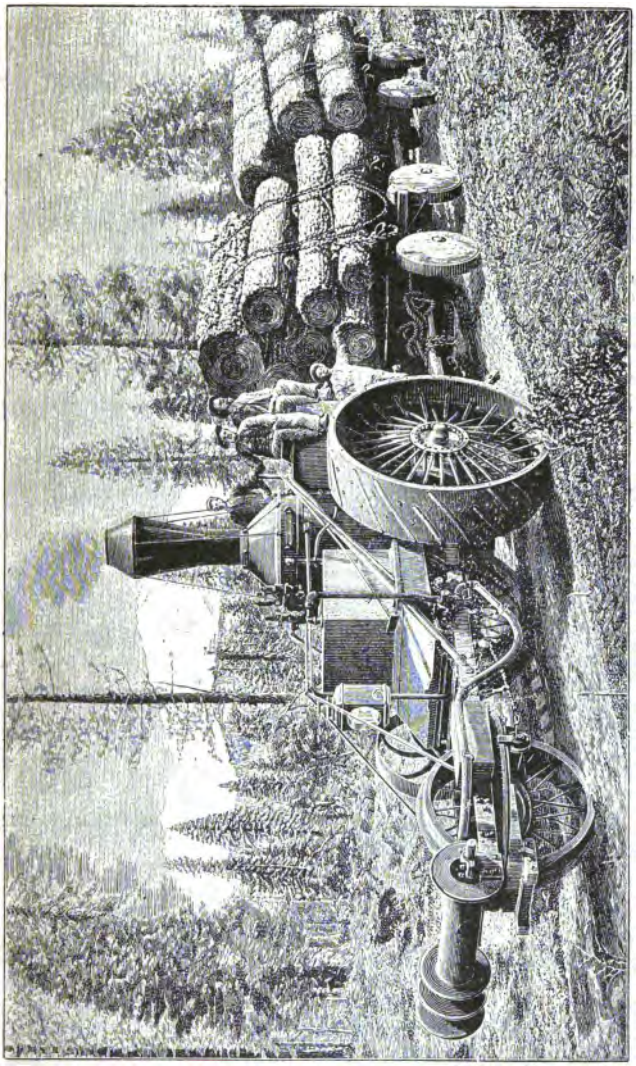


Fig. 3. Transport des bois par locomotive routière.

signent sous le nom d'*alfalfa*) donnent cinq coupes par an. Ces résultats ont stimulé les agriculteurs et l'on entreprend

la construction de beaucoup de canaux ainsi que des forages de puits artésiens; plusieurs stations de pompes sont installées sur les rives de nombreux cours d'eau.

En 1890, il y avait 20000^{ha} irrigués dans l'est de l'État de Washington; le terrain est divisé en fermes d'une étendue moyenne de 19^{ha}. Les frais de préparation et de mise en culture des terres sont de 129^{fr} par hectare; le prix de l'eau d'arrosage est de 50^{fr}, l'impôt de 16^{fr}, soit un ensemble de 195^{fr} par hectare. La récolte est estimée à 625^{fr}, soit un bénéfice net de 430^{fr} par hectare. Sans irrigation, la même récolte n'aurait qu'une valeur de 213^{fr} (au lieu de 625^{fr}); soit une plus-value sur la recette brute de 412^{fr} due à l'irrigation. Sans irrigation, les frais et l'impôt s'élèvent à 145^{fr} par hectare et le bénéfice net n'est que de 68^{fr}; il y a donc, en faveur des irrigations une plus-value de 362^{fr} de bénéfice net par hectare.

C'est dans le comté de Yakima que se trouvent des irrigations importantes appliquées aux cultures suivantes : blé, houblon, maïs, tabac, sorgho, pommes de terre, melons et aux arbres fruitiers : pêchers, pruniers (*fig.* 4), vignes. La configuration des vallées qui se détachent des Cascade-Mounts vers la Columbia-River a d'ailleurs beaucoup facilité l'établissement des irrigations.

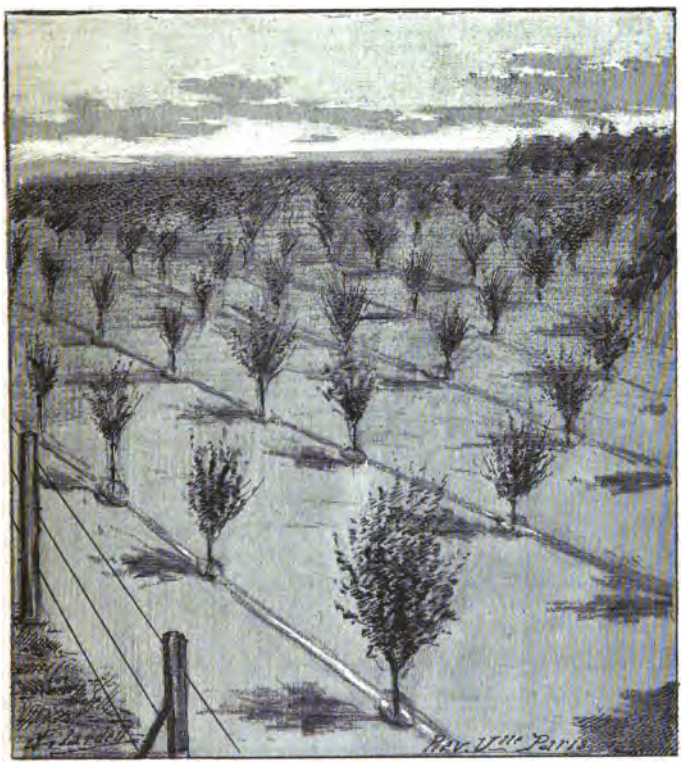
Le canal de la Compagnie *Northern-Pacific Yakima et Kittitas* peut arroser 28000^{ha}; il a 31^{m} d'ouverture, 10^{m} de largeur au plafond, 2^{m},60 de profondeur d'eau et 10^{km} de longueur. Le canal de la Compagnie *Columbia et Yakima* a 28^{km} de développement. La Compagnie *Fowler Ditch* a un canal de 12^{km} de longueur pouvant arroser 2000^{ha}.

Les rendements obtenus à l'aide des irrigations sont en moyenne de :

			Prix de vente.
Blé.....	27^{hl}	à l'hectare.	10^{fr},50 l'hectolitre.
Avoine.....	46^{hl}	»	7 50 »
Foin de timothy...	6^{t}	»	45 » la tonne.
Foin de luzerne....	15^{t}	»	28 » »
Houblon.....	2000^{kg}	»	77^{fr} » les 100^{kg}.

La California est l'Eldorado de l'Amérique, le plus beau territoire de l'oncle Sam; ici nous trouvons des récoltes vrai-

Fig. 4.



Pruniers irrigués du Washington.

ment extraordinaires, car le blé donne, dit-on, jusqu'à 103^{hl} à l'hectare!

Le Nord a pour capitale San-Francisco; la Southern California a pour capitale Los Angeles : une grande rivalité existe entre ces deux villes, et l'ancienne San-Francisco ne peut pardonner à sa jeune rivale de vouloir lui disputer le titre de capitale de l'extrême Ouest; aussi, dans le but d'augmenter

son prestige, San-Francisco tient actuellement une exposition générale.

Le pays est mouvementé, traversé par la Sierra-Nevada dont les nombreux contreforts s'étendent jusqu'à l'océan Pacifique. Les irrigations, facilitées par la configuration du sol, sont très répandues, et l'on trouve de nombreux vestiges d'anciens travaux aux environs des vieilles missions espagnoles.

La température moyenne au mois de janvier est de 12°,7, et en juillet elle est de 21°,1; l'hiver est analogue à notre prin-

Fig. 5.

Puits artésien d'Alameda.

temps; aussi laisse-t-on en pleine terre les héliotropes, géraniums et jasmins qui fleurissent par milliers en hiver dans les jardins. Il y a très peu de jours, dans la mauvaise saison, où le thermomètre descende au-dessous de 0°.

L'étendue irrigable est estimée à 1800000^{ha}, dont 1400000 sont actuellement en culture. Les irrigations sont facilitées par les grands cours d'eau (Sweetwater, Bear, Hemet et le Pacoima). Là où les cours d'eau manquent, on a recours à des puits artésiens de 30^{m} à 70^{m} de profondeur; il y a près de 3500 de ces puits en Southern California (*fig.* 5) et il y en a plus de 100 vers Pomona, au pied des monts San-Gabriel; l'eau est amenée par des tuyaux. Lorsque les eaux sont fournies par une compagnie qui a effectué les travaux, la rede-

vance par hectare et par an varie de $6^{fr},50$ à $31^{fr},50$; dans les hautes parties, cette somme est de 32^{fr} et s'élève exceptionnellement jusqu'à 150^{fr} par hectare et par an.

Le maïs, presque localisé dans les comtés de Los Angeles, d'Orange et de Ventura, rapporte, non arrosé, de 36^{hl} à 90^{hl} à l'hectare; et avec les irrigations la récolte s'élève de 54^{hl} à 108^{hl} à l'hectare. Les deux comtés de Los Angeles et d'Orange produisent pour 1125000^{fr} de maïs, dont les trois quarts chargent les navires à San-Francisco; d'après les mercuriales, le prix moyen du maïs est de 9^{fr} l'hectolitre.

La luzerne, non irriguée, vers El Monte, en Los Angeles, atteint de forts rendements : 6^{ha} semés dans des terres sableuses donnent, en six coupes, $67^{t}\frac{1}{2}$ vendues 3750^{fr}; dans un autre exemple, toujours d'après des documents officiels, $4^{ha},40^{a}$ produisent annuellement $76^{t},5$ de fourrage. Avec l'irrigation, la luzerne peut durer de quatre à six ans.

Parmi les arbres fruitiers, l'oranger tient le premier rang et surtout la variété dite orange d'or (golden orange) qui rapporte, dit-on, 4380^{fr} par hectare. On estime que la récolte d'un million d'orangers vaut 14100000^{fr}. Le nombre total d'orangers est de 3720257 dans la Southern California (notamment dans le comté de San-Bernardino, où l'on compte 2300000 orangers).

Les frais de mise en culture et de plantation de 4^{ha} d'orangers sont en moyenne les suivants :

Acquisition du terrain	12500^{fr}
Préparation du sol	250
Achat d'un millier d'arbres	5000
Plantation	250
Frais pour l'eau, la premiere année	150
Soins pendant la première année	1000
Frais divers	350
Total pour la première année	19500^{fr}
Montant des dépenses les deux années suivantes, y compris l'intérêt du capital à 8 pour 100	6600^{fr}
Dépense totale au bout de trois ans	26100^{fr}

Les cultures d'arbres fruitiers sont très rémunératrices et le

Fig. 6. Limons irrigués (Californie).

Bureau des informations de l'État annonce des bénéfices énormes : 11125^{fr} sur 1^{ha},40^{a} d'orangers....

Les limons sont également très cultivés; on compte près de 400000 arbres dont la plus grande partie sont irrigués (*fig.* 6). Il faut mentionner les cultures de tomates; les tomates sont expédiées dans l'Est et notamment à Chicago où, de suite après l'hiver, elles se vendent à raison de 7^{fr} la boîte de 10^{kg}; en janvier, on les achète 15^{fr} la boîte; il est bon de dire que l'Américain consomme beaucoup de tomates, de concombres et de melons d'eau. Avec les irrigations, on obtient en été 50^{t} de tomates à l'hectare.

Les pruniers sont très répandus, par suite de la facile expédition des produits sur les marchés de l'Est. Les pommiers couvrent de nombreuses vallées; les meilleurs fruits sont vendus à l'état frais, les autres sont coupés et séchés. L'emploi des étuves à sécher les fruits est surtout spécial aux régions septentrionales; en Californie, on sèche les fruits au soleil, sur des claies légèrement inclinées, qui couvrent souvent de grandes étendues.

Dans la vallée du Sacramento, il y a de grands syndicats d'irrigation, s'étendant sur 140000^{ha}, avec un capital de 10500000^{fr}. Dans le comté de Merced, le canal principal a 80^{km} de longueur et débite 110^{mc} par seconde; les canaux du comté de Kern ont 1100^{km} de longueur; le canal Calloway, qui est le plus important de la région, a une largeur de 36^{m} au plan d'eau et 2^{m},10 de profondeur.

C'est encore en Californie que se trouve le plus grand domaine irrigué... du monde. C'est la Compagnie terrienne du comté de Kern, dans la fameuse vallée de San-Joaquin, au pied de la Sierra-Nevada. Le domaine est divisé en fermes de 8^{ha} vendues de 750^{fr} à 1250^{fr} l'hectare, payables à long terme; chaque exploitation est pourvue d'un canal d'amenée des eaux et d'un canal de colature; l'étendue totale du domaine est de 160000^{ha}.

Comme dans le Washington et beaucoup d'autres États (Nevada, Oregon), on a essayé la culture de la betterave à sucre, mais le prix élevé de la main-d'œuvre rurale retardera pour longtemps peut-être l'extension de cette culture en Amérique.

La vigne, en Californie, s'étend sur 80000^{ha}; c'est l'étendue

qu'occupe cet arbuste dans un de nos grands départements méridionaux; d'après un de nos amis, M. Gos, qui a été chargé d'une mission spéciale sur la viticulture, une partie importante du vignoble californien est détruite par le phylloxera et une maladie encore indéterminée, due certainement à un cryptogame, désignée sous le nom vague de *maladie de Californie*. Les Américains sont obligés de reconstituer leur vignoble.

On fait deux vendanges successives : la première (août) est transformée en vin, la seconde (octobre) en raisins secs.

En Amérique, où l'on ne boit que de l'eau ou des tisanes sucrées, il ne s'agissait pas de faire des vins ordinaires, mais des vins fins : l'Américain a eu recours à des cépages appropriés, mais n'a pu modifier le sol et surtout le climat.

La température élevée nuit à la fermentation tout en la prolongeant, et les celliers, bien agencés au point de vue mécanique, sont déplorables au point de vue œnologique : ils consistent en de grandes constructions en bois dans lesquelles la vendange est élevée mécaniquement au troisième étage où sont installés les fouloirs; les cuves à fermentation sont au deuxième et les foudres au premier étage.

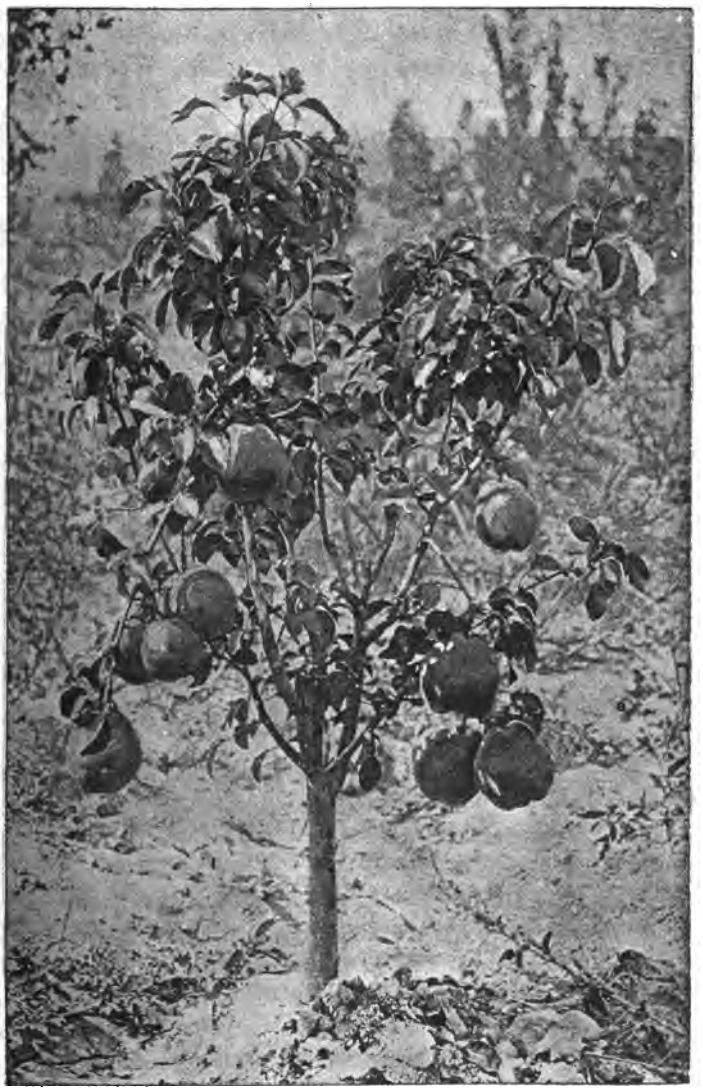
D'après M. Gos, sur cent viticulteurs californiens, il y a vingt-sept Français. Ce sont les Français qui produisent le meilleur vin, mais qui ont le plus de difficulté à le vendre.

Le New-Mexico, situé au sud du Colorado, renferme de nombreuses cultures d'arbres fruitiers qui, dans les parties bien cultivées, rapportent de 5000^{fr} à 6500^{fr} l'hectare (pêchers, pommiers, poiriers).

Nous avons rapporté une photographie (*fig.* 7) représentant un poirier l'année d'après sa plantation; l'arbre est chargé de neuf poires dont le poids moyen, par fruit, est de 425^{gr}.

De nombreuses prises d'eau arrosent les cultures; sur les 1 380 800 hectares du comté de San-Juan, 70 000 sont irrigables, mais actuellement il n'y a que 36 700^{ha} arrosés, répartis en 3085 exploitations, soit 12^{ha} en moyenne par exploitation. Le prix moyen de l'arrosage est de 70^{fr} par hectare et par an.

Fig. 7.



Poiriers de San-Juan de Mexico.

En 1892, d'après les mercuriales de l'administration du

comté, le blé valait $6^{fr},30$ l'hectolitre, le maïs $6^{fr},75$, la luzerne 21^{fr} à 30^{fr} la tonne.

L'apiculture est très soignée en Amérique (comme en Suisse). Dans le comté de San-Juan, certaines ruches produisent 20^{kg} à 30^{kg} de rayons par an, soit une recette de 20^{fr} à 36^{fr} par colonie.

Vers l'ouest de l'État (Navajo Indian Reservation), il y a près de 200000^{ha} de prairies permanentes nourrissant d'importants troupeaux de chevaux, de bœufs et de moutons; l'hiver, les bestiaux trouvent un débouché au Nord, sur les marchés du Colorado, et au Sud, à Albuquerque et à Saint-Wingate.

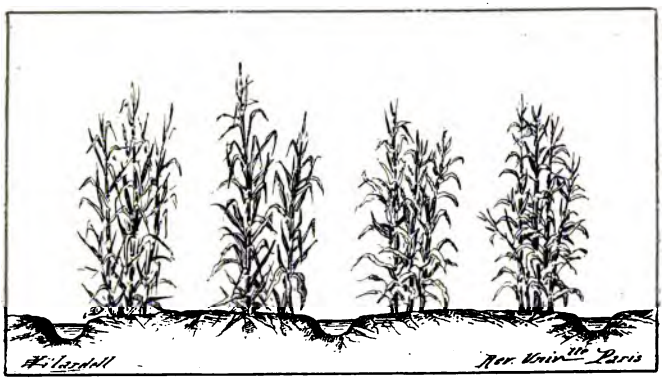
Les cultures principales du Colorado sont le blé, les pommes de terre et l'avoine, obtenues souvent à l'aide des irrigations. Les arrosages s'étendent sur 700000^{ha} dont une grande partie est alimentée par 4500 puits artésiens. Les terres se vendent, auprès des villes, de 520^{fr} à 2000^{fr} l'hectare; les jardins de 1200^{fr} à 6300^{fr} l'hectare. Les compagnies de chemins de fer cèdent leurs terrains de 30^{fr} à 200^{fr} l'hectare, suivant l'éloignement des zones cultivées.

En Garfield, le canal d'irrigation de Grass-Valley a près de 50^{km} de longueur; celui de l'Excelsior a 108^{km}; avec les prises d'eau particulières, on compte sur un développement total de 640^{km} de canaux.

L'Utah, d'une étendue d'environ 500000^{ha}, est connu du monde entier : c'est la patrie des Mormons, qui se sont établis dans la *Terre promise* où, entre deux chaînes de montagnes parallèles, le lac Utah se déverse par le Jordan-River dans le grand lac Salé; auprès de cette mer morte s'élève la Jérusalem des Mormons : Salt Lake City.

Le sol est très mouvementé, son altitude moyenne est de 1430^{m}. Les montagnes, les gorges sont très pittoresques, et les vallées fertiles sont cultivées et garnies de vignes et d'arbres fruitiers. Par suite de sa pente, le sol est relativement sec; aussi trouve-t-on dans l'Utah de nombreux troupeaux de moutons qu'on soigne en vue de la production de la laine.

Fig. 8.



Coupe d'un champ de maïs disposé pour l'irrigation à la raie.

D'après les statistiques, le blé occupe une superficie

Fig. 9.

Irrigation à la canne (Utah).

de 44 000^{ha} ; la luzerne, 41 000^{ha} ; les prairies naturelles, 33 000^{ha} ;

l'avoine, 13000^{ha}; les betteraves, 3600^{ha}; le maïs, 3600^{ha}, etc. Il y a de nombreuses irrigations, dont les eaux sont fournies par des puits artésiens ou des barrages.

L'arrosage des céréales se fait à la *raie;* le sol est divisé en petites planches (*fig.* 8) de 2^{m} de largeur entre lesquelles est creusée une petite rigole d'irrigation. Pour les cultures en poquets (haricots, etc.), on fait l'irrigation à la *canne :* l'ouvrier trace avec un bâton une petite saignée allant de la rigole au pied de chaque touffe (*fig.* 9).

C'est dans le North Dakota (¹) que se trouvent les grandes cultures de blé, et les exploitations où les différents travaux sont effectués avec le plus de machines afin de compenser le manque de main-d'œuvre.

D'une façon générale, le North Dakota est constitué par de grands plateaux sur le côté ouest, vers la Red-River; ces plaines immenses s'étendent du nord au sud de l'État, et sont entrecoupées de vallées secondaires très fertiles. La terre arable de la grande vallée de la Red a une épaisseur variant de 0^{m},30 à 1^{m},80. Le sol est formé d'alluvions reposant sur un sous-sol argileux; sa coloration varie du brun au noir et ses qualités sont démontrées par les récoltes qu'il fournit. Les coteaux sont localisés sur la frontière nord, du côté de l'Assiniboia et du Manitoba où l'altitude varie de 180^{m} à 600^{m}.

L'étendue totale du territoire est de 21 millions d'hectares. Mais la partie la plus fertile, actuellement cultivée, s'étend sur 13 millions d'hectares environ. Certaines terres ont déjà donné vingt récoltes successives de céréales et, d'après l'administration de l'État, elles pourraient produire cent trois récoltes successives de blé sans nécessiter l'apport de matières fertilisantes! Il est permis de se demander ce qu'il adviendra à la cent-quatrième année; mais les Américains actuels ne s'en préoccupent pas plus que de restituer au sol les éléments enlevés par les récoltes.

(¹) *Voir* notre article : *La culture dans le North Dakota* (*Revue universelle,* 1894, n° du 20 janvier).

La région principale de la culture du blé occupe un territoire de 320^{km} de long sur 50^{km} à 80^{km} de large, soit une super-

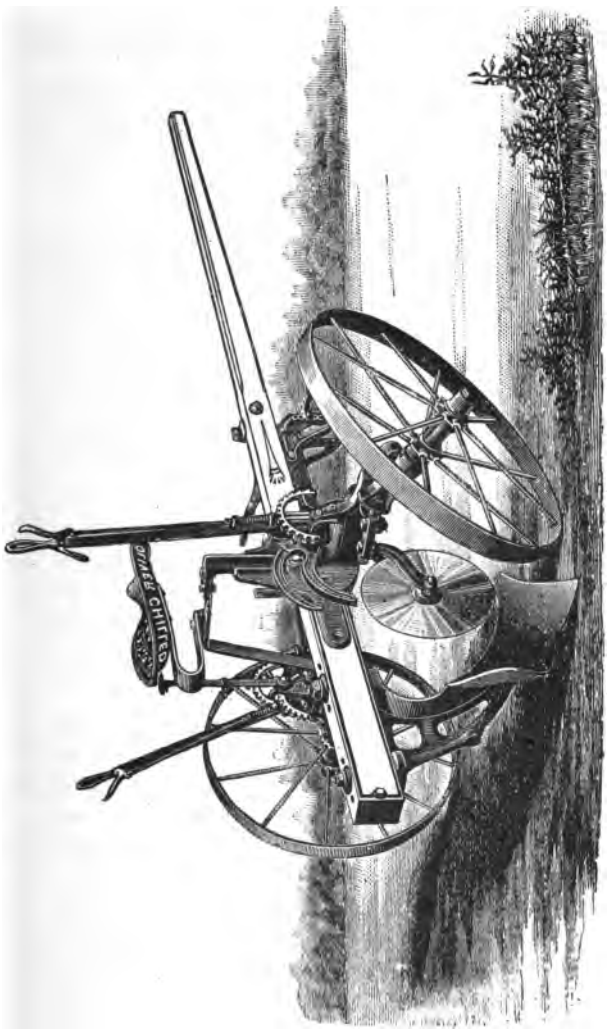
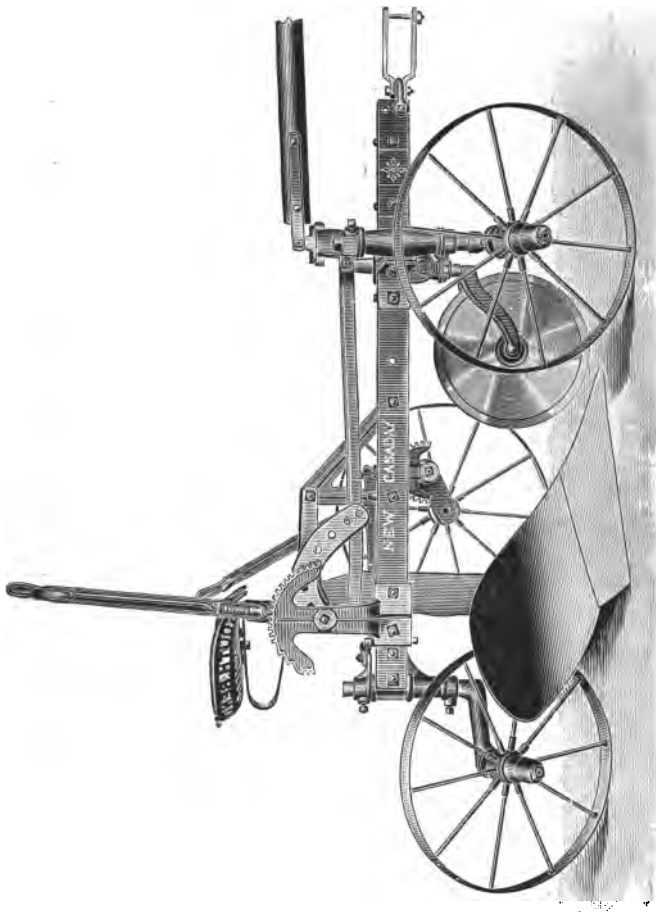


Fig. 10. Charrue tilbury, à deux roues, *Oliver* (*Pilter*).

ficie de 2240000^{ha}. Le rendement moyen annuel dans le North Dakota s'élève à 19965000^{hl}.

Les labours s'effectuent à l'aide de charrues-tilbury à deux ou à trois roues (*fig.* 10 et 11) attelées de six mules, retournant

Fig. 11.



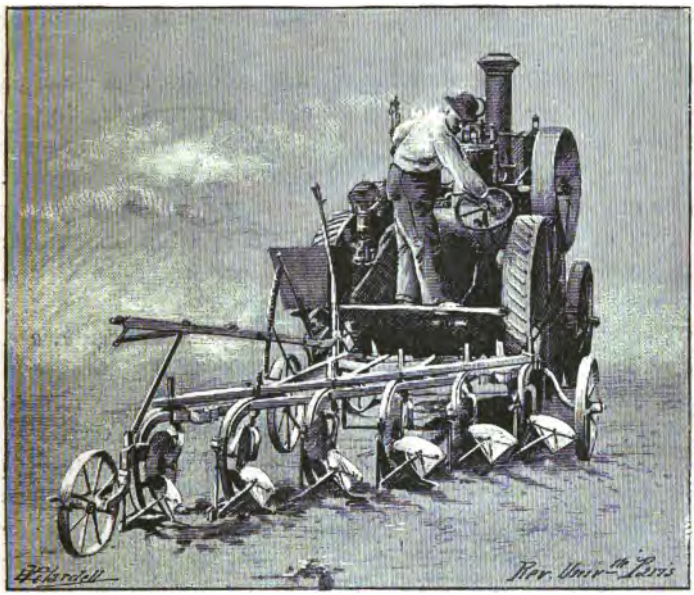
Charrue-tilbury tricycle, *South Bend* (*J.-S. Duncan*).

souvent deux bandes de terre d'un seul coup. Les chantiers de labourage ordinaire se composent de dix à quinze charrues-tilbury qui se suivent à 8^m ou 10^m de distance, sous la conduite d'un surveillant à cheval.

Il y a également quelques chantiers de labourage à vapeur.

Les Américains condamnent les systèmes anglais, ou dérivés,

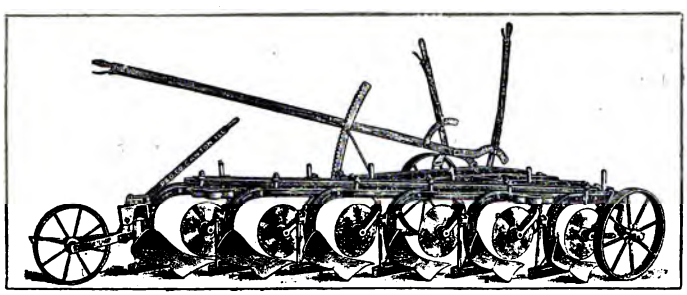
Fig. 12.



Chantier de labourage à vapeur.

dans lesquels la charrue est tirée par un câble métallique qui

Fig. 13.



Charrue à six raies pour labourage à vapeur (*Parlin et Orendorff, Canton C°*).

s'enroule sur un treuil fixe ou locomobile, comme exigeant

trop de matériel et de personnel. Les machines employées sont des locomotives routières de dix à douze chevaux de puissance (*fig.* 12), attelées directement à des charrues à six raies (*fig.* 13); de semblables machines peuvent labourer de 4^{ha} à 6^{ha} 40^{a} par jour.

L'ensemencement se fait avec des semoirs à siège à la volée, attelés de quatre chevaux, et il n'est pas rare de voir six ou sept de ces machines fonctionnant les unes à la suite des autres, dans des plaines qui s'étendent à perte de vue.

Les moissonneuses-lieuses sont attelées de quatre chevaux de front et travaillent par groupes de cinq à huit machines; derrière ce chantier (toujours surveillé par un contremaître, en buggy ou en araignée), il y a généralement un chariot à deux chevaux, contenant les pièces de rechange, l'huile, etc.

Le 23 août 1893, les membres des commissions étrangères de l'Exposition de Chicago ont pu voir, dans une excursion au North Dakota, à la fameuse *Elk Valley Farm* (comté de Grand-Forks), un champ de 4000^{ha} de blé récolté par quarante-cinq moissonneuses-lieuses *Deering* fonctionnant à la suite les unes des autres; y compris les arrêts ordinaires de la pratique, le chantier des quarante-cinq machines précitées devait abattre un peu plus de 30^{ha} de récolte par heure.

Une autre machine, très employée pour la moisson, est le *header* (*fig.* 14), machine poussée par quatre chevaux, coupant la récolte sur une largeur de 5^{m} et l'élevant dans des chariots spéciaux qui se déplacent parallèlement à la moissonneuse. Un semblable chantier occupe dix hommes et dix chevaux et récolte 14^{ha} à 15^{ha} par jour.

On estime à 15 millions de francs le matériel employé aux travaux de récolte dans le North Dakota; la dépense annuelle de main-d'œuvre pour le service des machines est évaluée à 15250000^{fr}; enfin plus de 200000 chevaux et mulets sont employés à ces travaux.

Le battage se fait à la vapeur, avec des locomotives routières de dix à quatorze chevaux, brûlant la paille (*fig.* 15). Le grain est envoyé aux élévateurs ou chargé directement dans les wagons. La récolte moyenne est de 13^{hl} à l'hectare, et le prix de vente 8^{fr} l'hectolitre.

Le blé du North Dakota est classé en Amérique sous la ru-

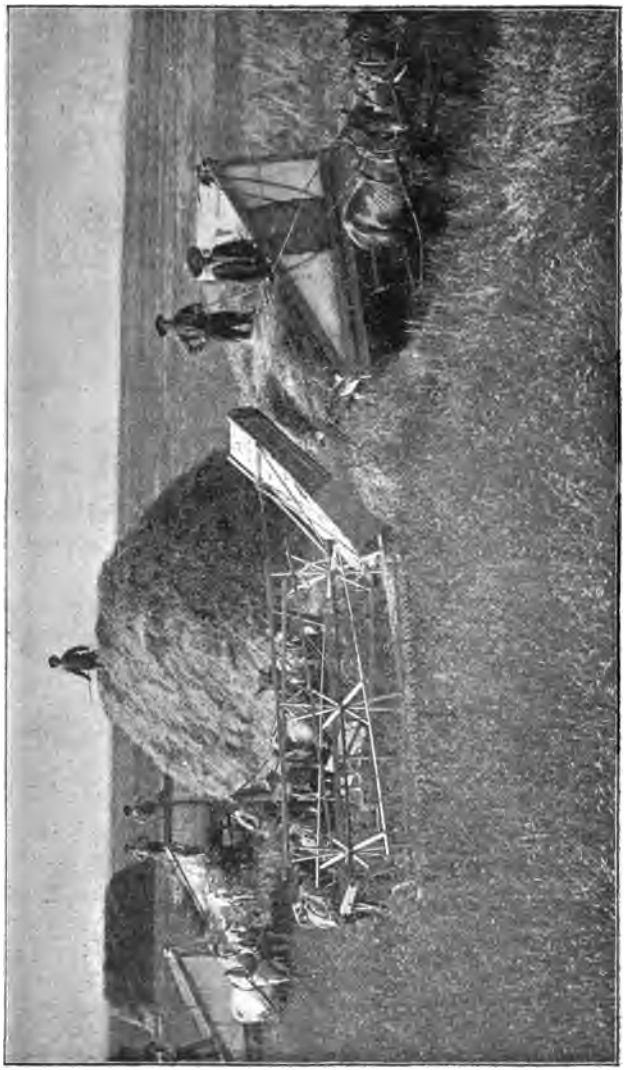


Fig. 14. *Header* en fonctionnement (North Dakota).

brique *n°* 1, *blé dur,* et se vend surtout à Minneapolis, dans l'État voisin du MINNESOTA. Minneapolis est le plus grand mar-

ché de grains des États-Unis; on y compte huit à dix moulins

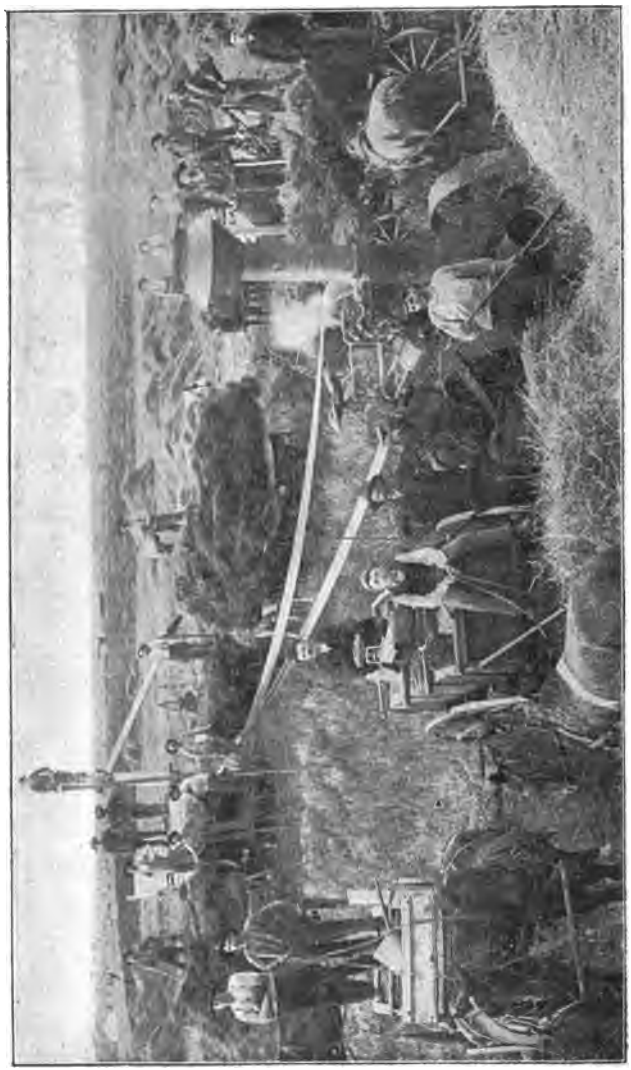


Fig. 15. Chantier de battage à la vapeur.

qui traitent et livrent dans les 20000 barils de farine par jour. Un de ces moulins (Pittsburg A.) est immense; sept compa-

gnies de chemins de fer y ont un embranchement; il reçoit journellement 200 wagons pour l'entrée et la sortie des mar-

Fig. 16. Pulvériseur (*Pilter*).

chandises : 11 625^{hl} de blé, soit 930 tonnes, y sont tranformés chaque jour en farine.

La grande vallée du Missouri présente une succession de beaux plateaux d'alluvions produisant du blé, de l'avoine, de l'orge, du maïs, mais nourrissant surtout des milliers de

bestiaux. Les chevaux, les moutons, les bœufs, restent toute l'année sur ces pâturages (Cattle Range), appartenant au domaine public et non encore divisés.

Dans les régions du centre, notamment dans le MICHIGAN, l'IOWA, l'ILLINOIS, l'INDIANA, l'OHIO, la PENNSYLVANIA, nous trouvons les cultures importantes de maïs ainsi que l'élevage et l'engraissement des bœufs et des porcs.

Voici quelques détails sur la culture du maïs. On donne un labour en automne ou au printemps (dans le cas d'un labour d'automne, on donne au printemps un passage de pulvériseur à disques (*fig.* 16), machine qui commence à se répandre en France), puis un coup de herse *Acme*. On plante alors avec des semoirs spéciaux à poquets; ces machines, très curieuses, très compliquées, dont l'emploi n'est pas à recommander chez nous, placent les poquets (qui contiennent chacun 3 ou 4 grains) à 1^m de distance, suivant deux directions perpendiculaires, pour faciliter les binages mécaniques.

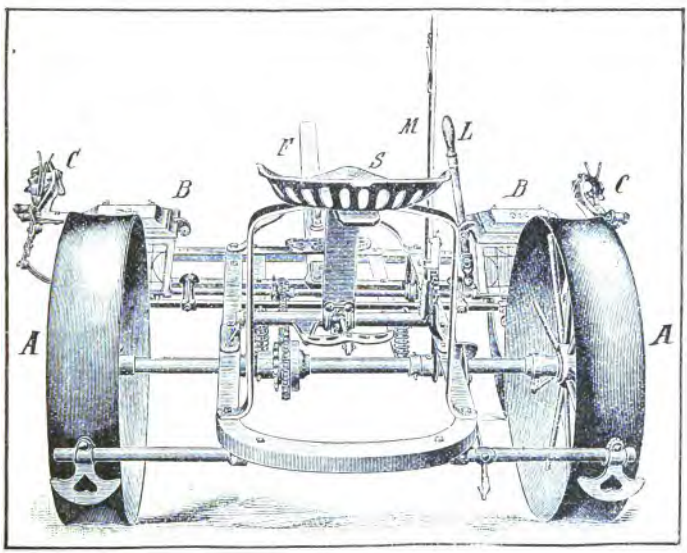
La *fig.* 17 représente la vue arrière d'un de ces semoirs (machine de la *Stoddard Manufacturing C°*, de Dayton, Ohio); on voit les deux roues A, à jante concave, faisant office de rouleaux sur les poquets semés. Sur le bâti, se trouvent de chaque côté deux boîtes B contenant les graines à semer; le distributeur à tiroir est alternatif et est commandé par les pièces à ressorts C; on voit en L le levier de débrayage, en M le levier de relevage des socs (qui passent en avant des roues A); en F la flèche et en S le siège pour le conducteur; les chevaux sont attelés comme à une faucheuse.

Une chaîne, analogue à une chaîne d'arpenteur, garnie de rondelles tous les mètres, est tendue d'un bout du champ à l'autre et suivant la ligne parcourue par la machine; elle passe dans les pinces C, et, chaque fois que se présente une rondelle, c'est-à-dire à chaque mètre d'avancement du semoir, la pièce C reste un peu en arrière jusqu'à ce que les pinces échappent la rondelle; sous l'action de ressorts, la pièce revient alors en avant. C'est ce mouvement périodique de la pièce C qui est utilisé pour la manœuvre du distributeur B.

La chaîne est attachée à deux piquets, un à chaque extrémité. Arrivé au bout de la ligne, le conducteur la détache de la pièce C, tourne la machine, déplace le piquet et met la chaîne dans l'autre pièce C.

Dès que le maïs a $0^m,03$ ou $0^m,04$ de hauteur, on passe le pulvériseur (tower) pour émotter et couper les herbes adven-

Fig. 17.



Semoir à maïs (*Stoddard C°*).

tices, les retarder de quinze jours au moins, afin de permettre au maïs de prendre le dessus. Lorsque les plantes ont $0^m,10$ de hauteur, et suivant l'état du champ, on cultive l'interligne avec un cultivateur à siège, muni de petites pelles pénétrant peu profondément dans le sol; on donne deux ou quatre passages du cultivateur, jusqu'à ce que le maïs ait $0^m,60$ ou 1^m de hauteur, c'est-à-dire tant que les têtes sont assez flexibles pour plier sous le bâti de la machine, qui laisse un dégagement de $0^m,80$ de hauteur.

En août, on coupe le maïs destiné à l'ensilage; on le met en meulons circulaires de $1^m,50$ de diamètre; ces meulons,

répartis en plein champ, sont chargés (en septembre) d'un seul coup dans les chariots à l'aide d'une petite grue spéciale. Ce maïs-fourrage, ensilé dans des constructions en bois, est destiné à l'engraissement des bœufs.

Le maïs à grain est récolté vers octobre-novembre; les hommes passent dans le champ, avec une cheville de fer attachée à la main par une petite courroie; ils récoltent les épis et les jettent dans le coffre d'une voiture. Un homme récolte ainsi 1800^{lit} d'épis par jour de dix heures (il y a de 1450^{lit} à 3600^{lit} par hectare). Les tiges de maïs restent dans le champ; on y met les bestiaux, qui mangent les feuilles sèches et les épis oubliés, puis, au printemps, on donne un coup de pulvériseur qui hache les tiges de maïs, un ou deux hersages, et l'on sème à la volée, à la machine, de l'avoine à laquelle on ne donne aucune culture; souvent, on sème du trèfle dans l'avoine. Après la récolte de l'avoine à la moissonneuse-lieuse, on sème du seigle (si les terres ne sont pas infestées de chiendent) ou du maïs.

Autrefois, il fallait un homme, sans compter l'attelage, pour cultiver 5^{ha} de maïs; actuellement, grâce aux machines, un homme peut cultiver 25^{ha}, et le travail, qui est moins pénible, est mieux fait. Il ne faut pas en conclure que l'on a diminué le nombre des travailleurs agricoles, mais bien qu'on a augmenté l'étendue cultivée en zea dans le rapport de 1 à 5.

Nous ne pouvons insister ici sur les constructions rurales (1); sur l'emploi si fréquent et si intéressant des moulins à vent (*fig.* 18 et 19) (2); sur l'élevage et l'engraissement des bêtes bovines et des porcs, qui trouvent un débouché à Chicago.

Dans les États du Nord-Est, dans la région des Lacs, aussi bien aux États-Unis qu'au Canada, se trouvent ces grands pâturages autour des *Dairy-farms;* l'industrie laitière y est très développée.

---

(1) On trouvera des renseignements sur *les Constructions rurales* dans nos lettres sur l'Amérique (*Journal d'Agriculture pratique*, t. II, 1893).

(2) *Voir* nos études sur les *moulins à vent en Amérique :* (*Revue universelle*, 1893, novembre et décembre et *Journal d'Agriculture pratique*, 1894, tome II, page 712).

Sur le littoral de l'Atlantique, notamment dans le MASSA-

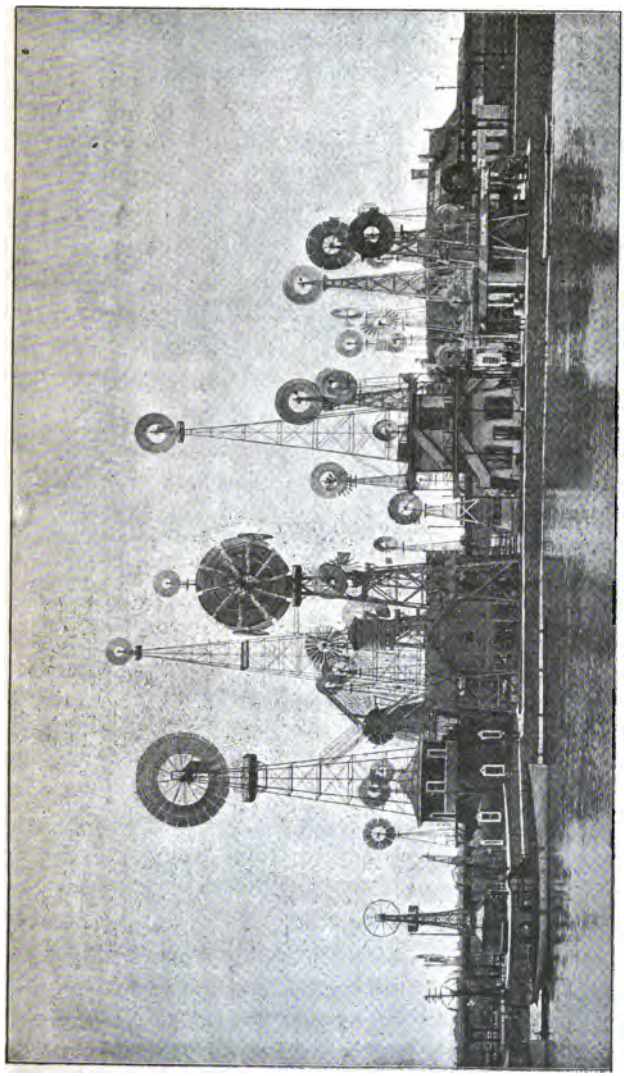


Fig. 18. Vue de la Section des moulins à vent à l'Exposition de Chicago.

CHUSETTS, se rencontrent de grandes exploitations où l'on pratique les cultures maraîchères; dans ces régions, qui furent

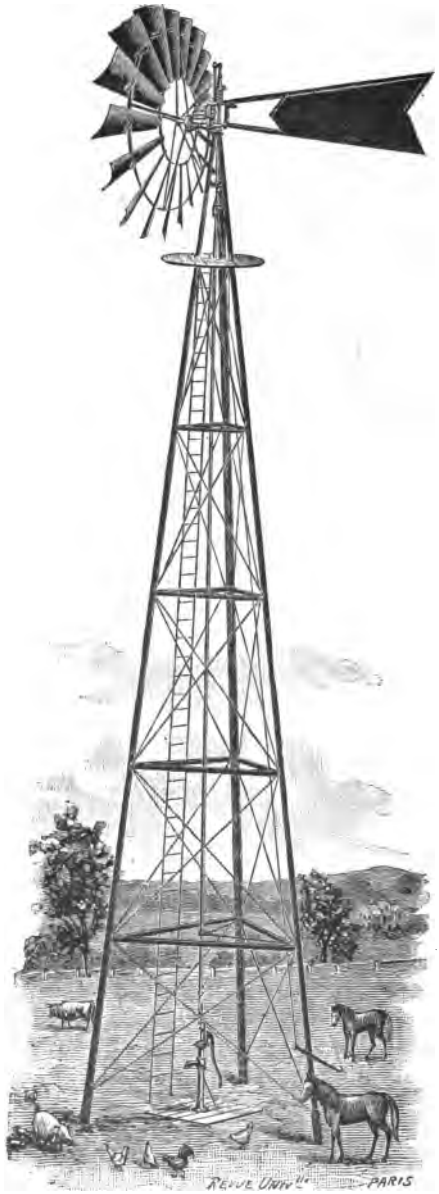


Fig. 19. — Moulin à vent installé dans un pâturage.

colonisées les premières, les agriculteurs sont obligés d'avoir recours aux engrais chimiques. Notons quelques récoltes dont les rendements à l'hectare sont : tabac, 2000^{kg} de feuilles; rutabaga, 1600^{hl}; oignons, 640^{hl}; carottes, 400^{hl}; des melons cantaloups, du céleri, etc., sont également cultivés sur de grandes étendues.

Dans le New-Jersey et le New-York, on trouve d'importantes étendues cultivées en sarrasin, qui produit de 7^{hl} à 9^{hl} à l'hectare; il y a, d'ailleurs, une grande analogie du sol avec notre Bretagne (schistes et granites).

On a tenté la culture du sorgho dans plusieurs comtés (il donne 9,8 pour 100 de graines et 8,2 pour 100 de mélasse, soit 6 pour 100 de sucre). Les tiges sont broyées dans des moulins à manège direct installés en plein champ, et le sirop est évaporé dans des bassines rectangulaires de 0^{m},10 de profondeur, chauffées à feu nu.

La culture du sorgho ne tend guère à se répandre, par suite du prix élevé de la main-d'œuvre nécessaire lorsqu'il s'agit de préparer la récolte pour l'expédier aux grandes usines: il faut la débarrasser de ses feuilles et n'envoyer que la canne (nous avons déjà signalé une semblable condition économique au sujet de la culture de la betterave à sucre). Aussi a-t-on recours au procédé suivant : le sorgho est cultivé comme le maïs, les lignes sont à 1^{m} d'écartement et les poquets à 1^{m} sur les lignes; au moment de la récolte, on envoie les moutons dans le champ, ils cassent les cannes et mangent les feuilles; ce sont les cannes, plus ou moins abîmées, qui restent débarrassées de leurs feuilles, qu'on met en bottes pour les expédier aux usines.

Plus au sud, en Maryland, West-Virginia, Virginia, North et South Carolina, comme dans les parties limitrophes du New-York, de la Pennsylvania, de l'Ohio, de l'Indiana, de l'Illinois, du Kentucky, etc., on cultive le tabac. Nous relevons les quelques rendements suivants en kilogrammes de tabac à l'hectare : Pennsylvania, 1550^{kg}; Missouri, 1120^{kg} à 0^{fr},70 le kilog.; Illinois, 1500^{kg} à 1^{fr} et 1^{fr},50 le kilog.; Massachusetts,

2000^{kg} à 2^{fr},50 le kilog.; New-Hampshire, 2200^{kg} à 3^{fr} le kilog.

On a proposé des machines nouvelles pour la plantation du tabac, et quelques modèles figuraient à la « World's Fair ». Le bâti porte en arrière deux sièges destinés à des enfants qui, à tour de rôle, posent les jeunes plants dans des sortes de pinces fixées sur la périphérie d'une roue. La roue enterre les jeunes plants à l'écartement voulu, et un robinet laisse écouler une certaine quantité d'eau à chaque plantation; le réservoir d'eau est placé au-dessus de l'avant-train.

Le tabac est séché dans des constructions spéciales, fermées par des lames de jalousies; à la partie inférieure, se trouve un calorifère à air chaud, afin d'activer la ventilation et, par suite, la dessiccation des feuilles de tabac qui sont suspendues à des cordes, dans l'intérieur du séchoir.

Les productions de la Florida sont variées; on y trouve les plantes des zones tropicales. L'irrigation, comme en Californie, est d'un emploi général. Voici un aperçu des cultures principales : maïs, coton, canne à sucre, pommes de terre, avoine, seigle (employé exclusivement en fourrage vert, dès le mois de septembre), blé, riz, tabac, melons d'eau (récoltés dès juin et expédiés sur les marchés des États de l'Est et du centre), grandes cultures maraîchères de primeurs et notamment de tomates (360^{hl} à l'hectare), arbres fruitiers (pruniers, oliviers, abricotiers, figuiers, bananiers), enfin plantes industrielles, telles que le pavot et l'indigotier (1 250^{kg} à l'hectare).

En Missouri on cultive le maïs et le blé; dans le Sud, le coton et le chanvre.

Le Mississipi est limité à l'ouest par le grand fleuve de ce nom, au sud par le golfe du Mexique, à l'est et au nord par les États d'Alabama et de Tennessee. Le pays est très plat et surtout cultivé en coton.

La récolte du coton s'effectue encore à la main, et les nègres sont employés à ces travaux. On a cherché et l'on cherche encore des moissonneuses à coton, mais jusqu'à présent le succès n'a pas couronné les nombreuses tentatives.

Du coton récolté on sépare les graines de la matière textile (opération désignée en Amérique sous le nom de *gin*), à l'aide de machines spéciales dont plusieurs figuraient à la « World's Fair ». Des graines décortiquées on extrait l'huile par pression, et les tourteaux constituent d'excellentes matières alimentaires pour le bétail ; ils sont importés en Europe et notamment en France où ils font une redoutable concurrence aux tourteaux de coton d'Égypte.

Le coton, débarrassé de ses graines, est mis en balles parallélépipédiques ; ces balles, comprimées à la presse, sont entourées d'un tissu grossier et cerclées de feuillard. Rien n'est plus curieux que de voir les grands bateaux qui font le service du Mississipi, lorsqu'ils sont chargés à l'extérieur de ces balles de coton qui leur donnent l'aspect d'une construction flottante en grosses pierres de taille.

Des factoreries importantes de coton se trouvent à Jackson, et plus bas, dans l'État de Louisiana, à Bâton-Rouge et à New-Orleans.

Le petit État de Louisiana, qui fut colonisé par des Français (comme la Florida), est compris entre le Mississipi et le Texas ; sa grande prospérité provient des cultures de riz, de coton et de canne à sucre, auxquelles il faut ajouter celles des orangers, des textiles et notamment de la ramie.

La culture du riz est favorisée par le climat, la configuration et la nature du sol (sol silico-argileux et sous-sol d'argile plastique). De novembre à juillet on prépare le sol avec des araires très simples, souvent sans versoirs, tirés par des mules ou des bœufs. De mars à juin on effectue les ensemencements, et la récolte a lieu d'août à novembre.

Le riz est semé à raison de 90^{lit} à l'hectare, soit 55^{kg}, et l'on irrigue par submersion, sous une couche d'eau de $0^{m},10$ à $0^{m},15$ d'épaisseur, dès que la plante atteint $0^{m},20$ à $0^{m},30$ de hauteur.

La récolte, qui se faisait autrefois à bras, s'effectue aujourd'hui avec des moissonneuses-lieuses à larges roues, tirées par quatre bœufs à la flèche et deux mules en avant. La première moissonneuse-lieuse à riz fut employée en Southern Louisiana

en 1884; en 1885 on comptait cinq machines; il y en avait 3000 en 1892.

La récolte est battue à la vapeur dans des machines analogues à celles en usage pour le blé.

L'extension de la culture du riz dans cet État est toute récente : la Compagnie du chemin de fer de Southern Pacific transporta 1 million de kilogrammes de riz en 1886, et ce chiffre augmenta d'année en année pour atteindre 150 millions de kilogrammes en 1892.

La récolte moyenne est de 54^{hl} à l'hectare, et l'on estime que le riz peut donner sur le marché un bénéfice net de 6^{fr} à 7^{fr} par baril de 81^{kg}. Le riz est décortiqué et glacé dans des machines très simples, analogues à celles employées pour décortiquer le café.

On cultive également la canne à sucre, qui est estimée profitable lorsque le prix de vente est de $12^{fr},50$ la tonne (il atteint exceptionnellement 20^{fr} la tonne). Les frais de la plantation d'un hectare reviennent, à la fin de la seconde année, à 825^{fr} (boutures, préparation du sol, plantation, cultures d'entretien, récolte); en deux ans les deux récoltes rapportent 930^{fr}, soit 465^{fr} par an. Les frais d'installation d'une sucrerie sont estimés à $1\,250\,000^{fr}$.

II.

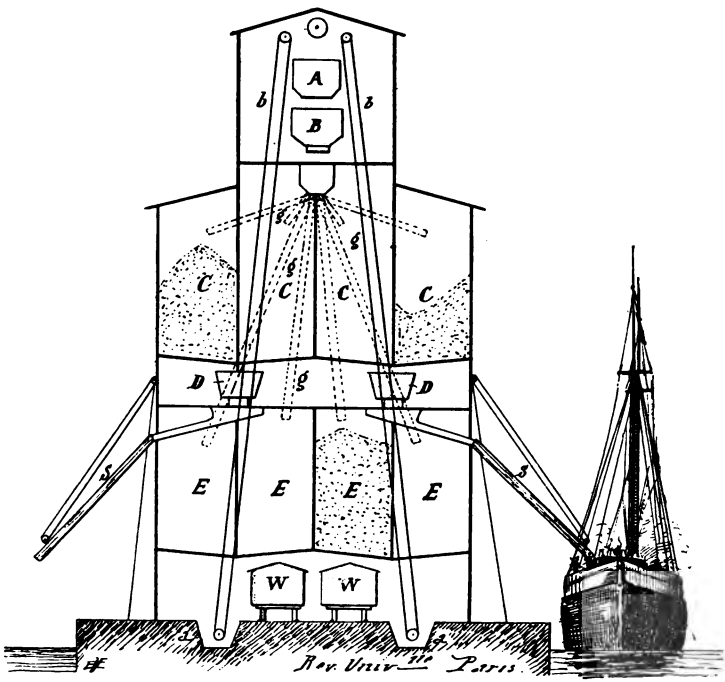
Revenons, pour terminer, à Chicago. Cette ville est le centre d'un important commerce de bois, de grains et de bestiaux. Les bois arrivent par bateaux; les grains sont amenés par les chemins de fer et chargent les élévateurs; les bestiaux sont tués près des « Stock Yards », et leurs produits manufacturés sont expédiés vers les marchés de l'Est et en Europe.

1. — Les *élevateurs de grains,* qu'on rencontre si fréquemment en Amérique, sont particulièrement nombreux à Chicago; ils sont liés au mode de battage et aux procédés des

transactions commerciales des grains en usage en Amérique : leur question est donc complexe (¹).

Aux petites gares de chemins de fer, l'élévateur sert à recevoir et à emmagasiner les grains apportés en vrac (par les

Fig. 20.



Coupe d'un grand élévateur de grains.

chariots de la ferme), afin de pouvoir charger directement par la pesanteur les grands wagons américains.

A Chicago, à Détroit, à Toronto, à Buffalo, etc., les élévateurs très nombreux sont beaucoup plus importants. Ici, il s'agit d'emmagasiner le grain amené par des wagons, puis d'en

(¹) *Voir* notre article sur *les Élévateurs de grains* (*Revue universelle*, 1893, n° du 5 décembre).

charger des navires, ou des bateaux qui descendent par canaux jusqu'à New-York.

Les élévateurs sont établis sur le même type, et les variations qu'ils présentent n'influencent que leurs dimensions. Afin de ne pas allonger cet exposé, nous décrirons les élévateurs de Chicago, où il nous a été possible de les étudier en détail.

En principe, les wagons W (*fig.* 20) sont refoulés sur deux voies parallèles qui passent en dessous du bâtiment et suivant son grand axe; des portes des wagons le grain tombe dans les fosses *a*; le déchargement est fait par deux hommes pour chaque wagon; à la fin du travail, ils s'aident d'une grande pelle en bois, analogue à une pelle à cheval (ou ravale), reliée à une corde que manœuvre un treuil à vapeur; un mécanisme très simple laisse dérouler une certaine longueur de corde, puis la tire : les ouvriers n'ont donc qu'à guider ou diriger la pelle dans une partie quelconque de ces grands wagons américains. Le treuil est installé au premier étage, et la corde passe sur une poulie de renvoi articulée à une monture fixée au sol.

Le grain est élevé à la partie supérieure de l'usine par des courroies à godets *b* (dont le nombre est de quatre à huit par élévateur) et est déversé dans un boisseau A, d'où il peut s'écouler dans des boisseaux B posés sur des bascules; dès qu'il y a le poids voulu, l'employé préposé au pesage arrête l'écoulement du grain A, et vide le boisseau B, par des goulottes *g*, convenablement disposées, qui permettent de charger un quelconque des compartiments-magasins C.

Lors d'une expédition, les compartiments C se déversent dans des boisseaux D posés sur des bascules chargées de contrôler la sortie : ces boisseaux se déversent directement dans les bateaux par les conduits S.

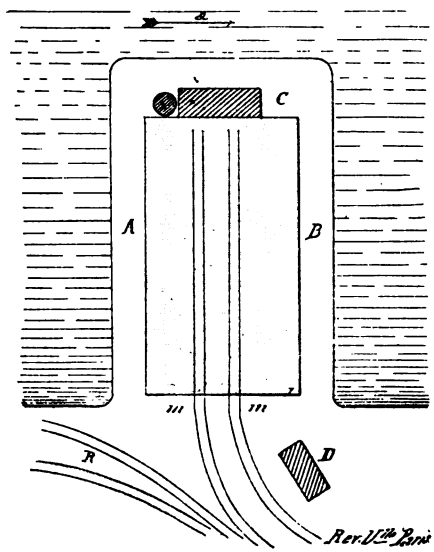
Ces conduits, qui débouchent en plusieurs points des longs pans de l'élévateur, sont articulés et peuvent prendre des positions variables en plan horizontal comme dans le plan vertical; ils sont soutenus par des moufles.

En dessous des compartiments C, il y en a d'autres E qui constituent la réserve; ils sont chargés par des goulottes *g*;

lorsqu'on a besoin des grains qu'ils renferment, on les vide dans les fosses *a*, d'où ils sont repris par les élévateurs *b* et remontés en A, B, etc.

En plan la construction est rectangulaire (*fig.* 21), le grand axe étant perpendiculaire à la direction du canal de navigation

Fig. 21.



Plan général d'un grand élévateur de grains.

a; de chaque côté sont les quais d'embarquement A et B auxquels s'amarrent les navires; les voies *m* se raccordent avec le chemin de fer R et longent le bureau D. Au pignon d'arrière, au bord du canal, se trouve la chambre C des chaudières et de la machine motrice.

La construction, entièrement en bois, est montée sur pilotis; tout l'emplacement, en remblai, est maintenu également par une forêt de pilotis, comme presque toutes les constructions de la ville. L'éclairage électrique a lieu au moyen de lampes à incandescence. Enfin, dans beaucoup d'installations, l'accès du personnel aux différents étages est facilité par un ascenseur à câble.

Plusieurs des élévateurs de Chicago ont de grandes dimensions et peuvent emmagasiner des quantités énormes de grains; beaucoup appartiennent à des compagnies de chemins de fer; d'autres sont établis par des commerçants et des spéculateurs. Voici quelques exemples.

L'élévateur *Iowa*, un des plus grands de Chicago, a environ 43^{m} de hauteur. En une journée de dix heures, il suffit de seize hommes pour décharger 150 wagons contenant chacun 252^{hl} de grain. Les douze balances-bascules qui servent à peser le grain à l'entrée ou à la sortie ont une capacité de 180^{hl}.

Lors d'une expédition, il faut une heure quarante minutes pour charger un bateau de 32400^{hl}, soit un débit de près de 20000^{hl} à l'heure.

La machine à vapeur a, m'a-t-on dit, une puissance de 700 chevaux; la courroie de commande a 85^{m} de longueur environ (elle va directement de la machine, au niveau du sol, à l'arbre des courroies à godets qui règne sous le faîtage du bâtiment). Cette puissance me paraît exagérée, car un calcul bien simple, en admettant que toutes les courroies à godets fonctionnent ensemble avec un rendement mécanique de 50 pour 100, montre qu'une puissance de 120 chevaux serait suffisante.

L'élévateur *Armour E* est déjà ancien, mais n'est pas le plus petit de la ville. Deux hommes, avec les pelles mécaniques que nous avons décrites plus haut, déchargent un wagon de 250^{hl} en quinze minutes. On peut décharger dix wagons en même temps, soit quarante à l'heure; mais, à cause des manœuvres des wagons sur les voies, on ne compte que trente wagons à l'heure, soit 7500^{hl}.

Les compartiments ont 3^{m} de côté et contiennent chacun 1800^{hl}; l'élévateur renferme 240 compartiments ou cases et a par conséquent une capacité totale de 432000^{hl}.

Le chargement d'un navire de 36000^{hl} se fait en quatre heures et demie avec le personnel du bateau, qui n'a guère qu'à guider les goulottes d'écoulement pour égaliser le remplissage. A l'élévateur, le personnel nécessaire pendant ce chargement se compose de deux hommes : un aux bascules, l'autre aux goulottes.

La machine à vapeur, à balancier, a une puissance annoncée de 450 chevaux, mais le même calcul que précédemment indique qu'une machine de 200 chevaux assurerait largement le service.

Certains élévateurs de Chicago ont une capacité de 720000^{hl}.

En Amérique, les grains sont vendus sous trois numéros : le n° 1 est excellent, le n° 2 est bon, le n° 3 est médiocre. On ne vend pas du grain à la bourse, mais des certificats n° 1, 2 ou 3 sur les élévateurs consignataires, ce qui donne une grande souplesse aux transactions commerciales. Aussi, au *Board of Trade* de Chicago (le plus grand marché de grains du monde), on achète et l'on vend à chaque instant toute la récolte d'un État.

En résumé, on voit que les *élévateurs* américains consistent en de simples magasins, en bois, d'une construction hardie, mais ne comportant aucun appareil de nettoyage ; ils reçoivent le grain en bon état pour la vente, et c'est ainsi que les machines à battre doivent le livrer au cultivateur. Pour ce motif, on ne voit pas en Amérique de ces petites batteuses sans nettoyage comme on en trouve chez nous.

L'élévateur n'est même pas bien disposé pour la conservation des grains. Souvent ces derniers s'échauffent et, dès qu'on s'en aperçoit, on fait vider le compartiment dans la fosse inférieure d'où la chaîne à godets reprend les grains pour les remonter aux étages supérieurs ; le procédé suivi est donc basé sur le principe de nos anciens *greniers-conservateurs* dont des essais furent tentés aux magasins de l'Intendance du quai de Billy (1).

Mais il convient de remarquer que l'installation est très bien comprise en vue de l'économie de la main-d'œuvre, dont le prix est si élevé aux États-Unis.

L'emploi général des élévateurs, et nous avons vu qu'ils sont répartis sur tous les points du territoire, a pour conséquence de supprimer les sacs, tout le grain étant expédié en

(1) On trouvera, dans les galeries du Conservatoire, différents modèles de ces greniers-conservateurs.

vrac : de là une autre économie; ajoutons enfin que, grâce au climat, les grains sont naturellement plus secs que dans notre pays, et si l'élévateur fonctionne bien en Amérique, dans des conditions commerciales autres que les nôtres, il y aurait lieu cependant de s'inspirer de quelques-unes de leurs dispositions et de les employer chez nous.

2. — Les bestiaux sont débarqués aux fameux « Union Stock Yards », le plus grand marché du monde! En effet, d'après M. E. Bruwaert, consul général de France à Chicago, voici les chiffres relatifs aux entrées en 1892, comparés à ceux de la Villette en 1891 :

	Chicago 1892.	Paris 1891.
Bœufs	3511796	294119
Porcs	7714435	445661
Moutons	2145079	1070574
Veaux	197576	178882
Chevaux	86998	»

C'est-à-dire qu'il entre et qu'on abat, à Chicago, onze à douze fois plus de bœufs qu'à la Villette et dix-neuf à vingt fois plus de porcs. Les « Union Stock Yards », très curieux comme installation, consistent en parcs (avec mangeoires et râteliers) couvrant une étendue de plus de 160^{ha}; il y a des bascules pesant 50000^{kg}, afin de pouvoir y faire passer un troupeau entier, car ici on ne vend pas le bétail par tête. Les « Stock Yards » sont parcourus incessamment par les troupeaux, au milieu desquels circulent à cheval les acheteurs et les courtiers; au centre se trouve la bourse du bétail.

Le matériel et l'installation ont coûté à la Compagnie des « Union Stock Yards » plus de 20 millions de francs. Ce marché est complété par les manufactures *Armour, Swift* et autres qui abattent et transforment le bétail en matières alimentaires et en produits divers : viandes glacées, extraits de viande, charcuterie, lards salés et fumés, margarine, suif, engrais, colle forte, peaux, cornes, laines, soies, etc. Le nombre des employés de ces « Stock Yards » s'élève à 24500.

Les manufactures Armour et Cie, quel'on cite ordinairement,

traitent par an 1 750000 porcs, 1 080000 bœufs, 625000 moutons; elles occupent 11000 ouvriers et employés, 700 chevaux et possèdent près de 4000 wagons et voitures. La fabrique de colle forte qui y est annexée occupe 750 ouvriers et produit par an dans les 6 millions de kilogrammes de colle.

Examinons brièvement le travail de ces abattoirs industriels.

Les animaux amenés par le chemin de fer sont dirigés par lots dans les grandes bascules dont nous avons parlé, puis dans des parcs où ils séjournent quelques jours ou seulement quelques heures, avant d'être poussés sur le *pont des soupirs* qui les conduit à l'abattoir.

Prenons comme type la tuerie des porcs. Les animaux arrivent dans un premier compartiment, à l'extrémité la plus élevée du bâtiment où un ouvrier leur envoie une douche d'eau froide. Après ce lavage, fait en bloc pour tous les animaux du compartiment, un manœuvre passe à l'un des pieds de derrière de chaque porc une courte chaîne terminée par un anneau-crochet; il accroche cette chaîne au crochet d'une autre chaîne, qui s'enroule sur un treuil à vapeur qu'un second ouvrier embraye au moment voulu; arrivé à une certaine hauteur, le porc est relié rapidement à un galet qui roule librement sur un rail incliné, qui le conduit dans la seconde chambre où se tient l'égorgeur. D'un seul coup de couteau, l'égorgeur fait son office à chaque animal, dont le sang tombe sur le sol en pente, d'où il s'écoule dans de grands réservoirs placés au-dessous de la chambre. Arrivé à l'extrémité du rail, le cadavre est décroché et jeté dans un bac contenant de l'eau maintenue chaude par un jet de vapeur ; il y séjourne environ trois minutes. Des ouvriers sortent l'animal du bac et l'accrochent à une chaîne sans fin horizontale qui le fait passer à la machine à racler, composée d'un certain nombre de cylindres munis de raclettes en acier et disposés obliquement afin d'agir sur toutes les parties du corps. Ce travail se faisait à la main il y a quelques années, et c'est à la suite d'une grève des ouvriers chargés de cette opération qu'on installa ces machines. Dans la pièce suivante, un ouvrier décroche le corps de la chaîne, et l'on procède à un raclage à la main qui complète le

travail; puis on le lave sous des jets d'eau froide, et l'on passe à l'inspection finale du nettoyage des soies. Le corps est suspendu par les pattes de derrière à une traverse qui est reliée à un galet mobile sur un rail accroché au plafond. Plus loin s'effectue l'enlèvement des entrailles; dans les passages successifs, on coupe les bandes de lard et l'on détache la tête, qui est fendue pour en retirer la cervelle et la langue. Enfin, la carcasse est fendue en deux et les pièces sont poussées dans la chambre réfrigérante où elles restent soumises à une température de — 5° jusqu'à complet refroidissement.

Depuis la première pièce jusqu'à l'introduction dans la chambre froide, les opérations successives ont duré une quinzaine de minutes environ.

Après un séjour variable dans la chambre réfrigérante, les pièces sont dépecées en quartiers avec une grande habileté par des ouvriers spéciaux. Les morceaux additionnés de gros sel sont mis en barils; d'autres parties servent à la fabrication des saucisses, des conserves, etc.

Les opérations sont analogues pour les tueries de bœufs, de moutons et de veaux, et, comme on le voit, les machines ne jouent pas, dans ces abattoirs, le rôle que lui attribue le public.

L'usine est complétée par des machines à produire la glace, des presses à graisses et à margarine, et les installations annexes pour la fabrication des boîtes de conserves, le traitement des peaux, laines, soies et des déchets divers : sang, poils, cornes, os, boyaux, la fabrique de colle forte, etc.

III.

De l'examen rapide des procédés culturaux des différents États de l'Union Américaine, nous pouvons conclure que la culture y est relativement rudimentaire : les agriculteurs américains n'obtiennent que de faibles rendements par unité de surface, et les récoltes ne sont importantes que par l'étendue considérable des terres cultivées. Les produits agricoles sont écoulés à bas prix; le blé, dans la région du Dakota, par exemple, vaut à peine 10^{fr} les 100^{kg}; il est coté 11^{fr} à

Chicago et 12^{fr} à New-York, alors que chez nous il atteint et dépasse le chiffre de 20^{fr} les 100^{kg}.

Les méthodes de culture ressemblent à celles de nos régions pauvres : on travaille à peine la terre, on sème à la volée, on n'a pas recours aux engrais, la place à fumier est inconnue dans les fermes ; c'est-à-dire que l'Américain épuise le sol sans songer à l'avenir, et déjà aujourd'hui, dans les plus anciens États cultivés, il est obligé d'avoir recours aux engrais chimiques.

Les meilleures terres ont été occupées les premières, et, à l'heure actuelle, les cultivateurs sont conduits à améliorer celles qui sont encore libres, notamment par des irrigations, toujours coûteuses et qui ne sont applicables qu'à la moyenne et à la petite culture, les grands propriétaires se livrant surtout à l'élevage du bétail.

A côté de ces procédés primitifs, nous trouvons un emploi général des machines agricoles pour suppléer au manque de main-d'œuvre, laquelle atteint par suite un prix très élevé ; mais ces machines américaines, qui étonnent au premier abord par leur nombre, ne sont pas toutes à introduire chez nous, où les conditions économiques sont tout à fait différentes. Les agriculteurs américains utilisent, par exemple, de grands semoirs à la volée, tandis que nous demandons, avec juste raison, des semoirs en lignes qui économisent la semence, placent les grains dans les meilleures conditions voulues et contribuent par suite à une augmentation de rendement.

Il n'y a pas lieu de nous décourager ; le sort du cultivateur américain n'est d'ailleurs pas si enviable, et il y aura toujours entre les États-Unis et la France ces 6000^{km} d'Océan que les produits ne peuvent franchir sans nécessiter une dépense qui est encore relativement élevée.

Nous sommes dès maintenant outillés au point de vue intellectuel comme au point de vue matériel, et ce sera l'un des plus beaux titres de gloire de la troisième République d'avoir répandu dans une si large mesure, et à tous les degrés, l'enseignement agricole et les laboratoires de recherches.

Les résultats ne se feront pas attendre. En constatant, sous l'influence des champs de démonstration et des syndicats agri-

coles, la vulgarisation si rapide des engrais chimiques, qui ont pour conséquence d'augmenter les récoltes ; en considérant le développement de nos machines agricoles perfectionnées, qui permettent de diminuer le prix de revient des travaux, nous devons envisager l'avenir avec confiance, rester sur notre territoire pour améliorer l'Agriculture et par suite le sort des hommes, et contribuer ainsi à la gloire et à la richesse de notre chère patrie.

LE

MOUVEMENT SCIENTIFIQUE

AUX ÉTATS-UNIS.

CONFÉRENCE DU 28 JANVIER 1894 (¹),

Par M. Jules VIOLLE,

Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers,
Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

MESDAMES, MESSIEURS,

L'Amérique n'est pas seulement le pays de l'immense, de l'extraordinaire, voire même de l'invraisemblable. Elle ne nous offre pas seulement des fleuves énormes, des lacs qui sont de véritables mers, des entassements formidables de rochers, des plaines sans fin, des volcans, des geysers. Elle n'a pas borné sa prodigieuse activité à développer son industrie et son agriculture dans des proportions qui étonnent et qui inquiètent, non sans raison, le vieux continent. Au milieu d'une intensité de vie sans cesse grandissante, que les affaires paraissent uniquement absorber, la science aussi tient une large place.

Depuis Benjamin Franklin, l'Amérique a produit des savants dont elle peut s'enorgueillir. Il n'est pas non plus de pays au monde qui sente plus vivement la nécessité de l'éducation,

(¹) Cette Conférence a déjà paru dans la *Revue générale des Sciences pures et appliquées,* dont le Directeur, M. Louis Olivier, a eu l'obligeance de nous prêter les clichés des figures insérées ci-après (p. 255 à 312).

qui ait fait et qui fasse encore, pour l'enseignement à tous les degrés, des efforts plus énergiques, plus persévérants et plus généreux. C'est ce mouvement scientifique que je voudrais essayer d'examiner avec vous. Le sujet est singulièrement vaste et je ne saurais ici qu'en esquisser quelques traits, recueillis çà et là pendant ma visite aux États-Unis, à l'occasion de l'exposition universelle de Chicago.

Universelle, l'exposition de Chicago méritait assurément ce titre par le nombre et la variété des produits qu'elle étalait aux regards; et vous savez, Messieurs, que les Américains l'avaient baptisée eux-mêmes la « foire du monde ». Mais, à vrai dire, c'était plutôt encore un rendez-vous offert à l'Europe pour lui permettre d'admirer l'Amérique et d'étudier dans son cadre naturel « la plus grande nation de l'univers ».

L'aspect général de la *World's Fair* répondait bien à cette idée de grandeur, inscrite par la nature même sur la terre américaine et réalisée par la main de l'homme dans les pompeuses cités, où les maisons, à dix, à quinze, à vingt étages, proclament d'une façon quelque peu naïve le *quo non ascendam* de la gloire nationale. Tout était grand, colossal, énorme. Les différents palais de l'exposition, séparés les uns des autres par d'immenses espaces, auraient pu contenir aisément le double de ce qu'ils renfermaient chacun. Pour aller des Beaux-Arts au Dôme Central, où siégeait l'administration, il fallait une demi-heure de marche. Était-ce une manière ingénieuse de rappeler que l'art doit rester libre et se tenir soigneusement à l'écart de toute ingérence administrative? Le visiteur fatigué trouvait que l'amour du grandiose se déployait à ses dépens et déplorait la dissémination des édifices sur une étendue excessive.

Puisque nous sommes voués au symbolisme, permettez-moi d'y reconnaître le symbole de ce qui fit jadis la liberté, l'initiative hardie et la prospérité des Américains, lorsqu'ils vivaient au large et les coudées franches dans la prairie sans limites. Les États-Unis ne nourriraient-ils pas encore aujourd'hui des habitants dix fois plus nombreux que la population actuelle?

Mais pourquoi, dans la plupart des palais, cet abus des co-

lonnades et ces réminiscences du genre Louis XIV? « Paris

Fig. 1.

Chicago. — Temple maçonnique.

en Amérique » fut naguère une satire; Versailles à Chicago

ressemblait presque à une apothéose. Peut-être avions-nous le droit d'en être flattés. On eût souhaité toutefois quelque chose de moins classique et de plus neuf. Les Américains

Fig. 2.

Exposition de Chicago. — Péristyle et cour d'honneur.

sont depuis longtemps passés maîtres dans la construction des *buildings* gigantesques. Désespéreraient-ils d'en tirer les motifs puissants d'un art nouveau et personnel, dont les premiers essais ne manquent pourtant pas de caractère, ou tout au moins d'originalité?

A San Francisco, par exemple, où les maisons sont habi-

tuellement peu élevées, à cause des tremblements de terre assez fréquents, se dresse un haut et vaste hôtel, ayant six étages, avec cave et grenier, sans aucune fondation en maçonnerie. L'ossature consiste en une immense cage rectangulaire, dont les côtés sont formés par des poutres en fer, placées à peu de distance les unes des autres et solidement unies entre elles, de manière à constituer la robuste carcasse d'une sorte de navire terrestre, destiné en effet à osciller sans danger sur le sol où il repose, comme les véritables navires oscillent eux-mêmes sur la mer. Un de mes compagnons de route, partant du principe fort juste que le style des édifices doit en désigner l'usage, remarqua que cette lourde bâtisse figurait très bien une énorme malle déposée à terre, excellent emblème architectural pour une maison recevant des voyageurs.

Même dans les cas les plus ordinaires, la fantaisie des architectes du Nouveau-Monde se plaît parfois à employer des procédés qui déconcertent notre routine européenne. Qu'un propriétaire de chez nous veuille exhausser sa maison, il se contente simplement de superposer un étage supplémentaire à ceux qui existent déjà. Le propriétaire américain attaque la difficulté par la base : il fait scier sa maison au ras du sol, l'élève tout entière à la hauteur voulue, au moyen de madriers et de crics, puis bâtit dessous le rez-de-chaussée. Le *Columbus Club*, qui subissait cette opération pendant mon séjour à Chicago, était un monument construit primitivement avec quatre étages en pierres et en briques.

Rien de régulier non plus ni de symétrique dans la manière dont les Américains ont opéré leur développement intellectuel. Sans doute, le tronc primitif se dresse encore puissant dans les anciens États de l'Est, où il a jeté de profondes racines. Mais partout des rejetons vigoureux ont poussé, suivant les opportunités du terrain, des ressources et des hommes.

Tandis qu'en France l'activité scientifique se concentre dans la capitale, comme en son foyer, la science aux États-Unis est presque autant décentralisée que le reste. Pour en connaître sur place les manifestations diverses, il faudrait les suivre d'un bout du territoire à l'autre. Sous ce rapport, l'exposition, si fé-

conde en enseignements de tout genre, était moins à Chicago même que dans le pays entier.

De tout temps l'observation des astres fut l'étude préférée des peuples jeunes, attirés par le mystère de l'infini céleste. Les Américains, dont la république naissante prit aussitôt comme emblème un ciel semé d'étoiles, montrent pour l'astronomie une véritable prédilection. Aussi les observatoires publics et privés sont-ils très nombreux et très florissants aux États-Unis. Plusieurs ont déjà un nom dans l'histoire de la science astronomique.

C'est le directeur de l'observatoire de Washington, Mathieu Maury, ancien officier de marine, descendant d'une famille française émigrée à la révocation de l'édit de Nantes, qui, le premier, il y a un demi-siècle à peine, conçut l'idée de dresser des cartes indiquant les vents et les courants. Il releva toutes les observations consignées sur les livres de bord pour la traversée de New York à Rio de Janeiro, et réussit ainsi à tracer une route nouvelle si avantageuse, que le premier bateau américain, le *Wright*, de Baltimore, qui en fit l'épreuve, effectua le voyage, aller et retour, dans le même temps qu'employaient les navires pour aller seulement au Brésil par l'ancienne voie.

Bientôt les recherches s'étendirent, et la plupart des longues traversées furent abrégées de moitié environ. Celle de New York à San Francisco par le cap Horn se trouva réduite de cent quatre-vingt-deux jours à cent jours; celle de Londres à Sydney, aller et retour, ne demanda plus que cent vingt-cinq jours au lieu de deux cent cinquante. Ces travaux, qui rendirent, dès le début, les plus signalés services aux marins de tous les pays, permettent encore aujourd'hui aux voiliers de lutter avec les steamers pour les transports à très grande distance. On mange tout l'hiver à Londres des pommes d'Australie, apportées par des navires à voiles qui suivent les routes indiquées jadis par Maury.

La science pure n'était pas moins cultivée à l'observatoire de Washington, dont les premiers astronomes, les professeurs Coffin, Hubbard et Walker, pratiquaient avec succès les mé-

thodes les plus précises des savants européens. Et durant ces vingt dernières années, quels admirables travaux que ceux des professeurs Newcomb, Harkness et Hall! Je ne saurais ici passer en revue leurs recherches théoriques. Rappelons seulement que le professeur Hall découvrit les satellites de Mars et réussit par suite à donner une détermination nouvelle de la masse de la planète.

Cette découverte, effectuée il y a vingt ans avec un réfracteur de vingt-six pouces (soixante-dix centimètres) d'ouverture, démontrait en même temps d'une façon péremptoire l'avantage des grands instruments d'optique en astronomie. Le vieux monde pouvait-il décemment se laisser ainsi distancer? En 1880, M. Bischoffsheim donnait à l'observatoire de Nice un réfracteur ou, comme nous disons plus volontiers en France, une lunette astronomique n'ayant pas moins de trente pouces (quatre-vingt-un centimètres) de diamètre. Dès lors, entre les objectifs, comme sur un autre terrain entre les canons, se poursuit une lutte sans fin. L'observatoire Lick, en Californie, recevait en 1887 un réfracteur de trente-six pouces (quatre-vingt-dix-sept centimètres), construit par les Clark, de Cambridge, près Boston, avec des verres fournis par Feil, de Paris; et, hier encore, l'exposition de Chicago en montrait un autre mesurant quarante pouces (cent huit centimètres), et destiné à l'observatoire de la ville.

Dans son ensemble, l'appareil atteint le poids respectable de soixante-quinze tonnes. La colonne, en fonte de fer, pèse cinquante tonnes et s'élève à treize mètres. Tous les organes métalliques essentiels sont en acier. L'axe polaire et l'axe de déclinaison, dont les longueurs mesurent quatre mètres et trois mètres et demi, ont des diamètres respectifs de trente-huit et trente centimètres. Le tube, long de dix-neuf mètres et demi, s'effile vers les deux extrémités; son diamètre intérieur égale cent trente centimètres dans le milieu. L'horloge motrice, logée en haut de la colonne, est mise en marche automatiquement par un moteur électrique et réglée par un double pendule conique. Elle entraîne la roue motrice principale (deux mètres quarante centimètres de diamètre) qui, une fois reliée à l'axe polaire, le fait tourner avec le tube et les divers accessoires,

soit un poids total de vingt tonnes, pendant le temps sidéral exact. Les mouvements quelconques, rapides ou lents, les déplacements en déclinaison et en ascension droite sont effectués à la main ou par des moteurs électriques que contrôle un système d'aiguilles aisément visibles pour l'observateur. De son côté, l'aide astronome peut surveiller les moindres détails des opérations depuis le balcon supérieur, auquel on accède, ainsi qu'à l'horloge, par un escalier en spirale. Cette lunette est actuellement sans rivale par la grandeur; Chicago détient le record des lunettes astronomiques.

Ne quittons pas Washington sans rappeler que son observatoire a été transporté récemment au nord-ouest de la capitale, sur une hauteur où des bâtiments parfaitement aménagés ont permis d'installer les instruments de la façon la mieux entendue pour assurer à la fois la précision des mesures et la commodité des observations. Cette seconde condition, à laquelle la première est plus intimement liée qu'on ne le croit d'habitude, est encore trop souvent négligée chez nous.

Un autre observatoire, dont s'enorgueillissent à juste titre les États-Unis, l'observatoire Lick, ainsi nommé du nom de son fondateur, doit en effet l'existence à l'une de ces libéralités privées, libéralités vraiment princières, dont la démocratie américaine a contracté depuis longtemps l'heureuse habitude. James Lick était un ancien marchand de pianos, enrichi dans les spéculations de terrains. On dit que la musique adoucit les mœurs, il paraît qu'elle développe également l'amour de l'astronomie. Naturellement le brave homme aimait la science à sa manière, mais il la dotait magnifiquement. Il affecta par testament la somme de sept cent mille dollars (trois millions et demi de francs) à la construction d'un observatoire destiné à contenir « le plus grand télescope du monde ». Avait-il rêvé, lui aussi, de faire voir à ses compatriotes « la Lune à un mètre »? Peut-être bien. Toujours est-il que son vœu le plus cher était d'installer la lunette la plus puissante du monde en plein cœur de San Francisco. Il fallut beaucoup de diplomatie aux astronomes américains pour obtenir que le généreux donateur renonçât à son projet favori et pour lui persuader que l'isolement, les vastes horizons et l'air pur du mont Hamilton, situé

à quelque distance de la ville, convenaient beaucoup mieux aux observations astronomiques que le centre d'une cité populeuse et bruyante, où l'atmosphère est épaissie par les poussières et les fumées.

Ne nous hâtons pas trop cependant de sourire si le culte de

Fig. 3.

James Lick.

la science prend parfois, chez ses nouveaux fidèles, des formes un peu ingénues. Le fond des choses ne prête nullement à la raillerie, bien au contraire. Que les heureux du monde songent aux déshérités, que d'opulents citoyens établissent à leurs frais des institutions de bienfaisance, certes, c'est là un noble usage de la fortune; mais, en somme, c'est un fait ordinaire, disons-le à la gloire de l'humanité. Quelle nation, dans les

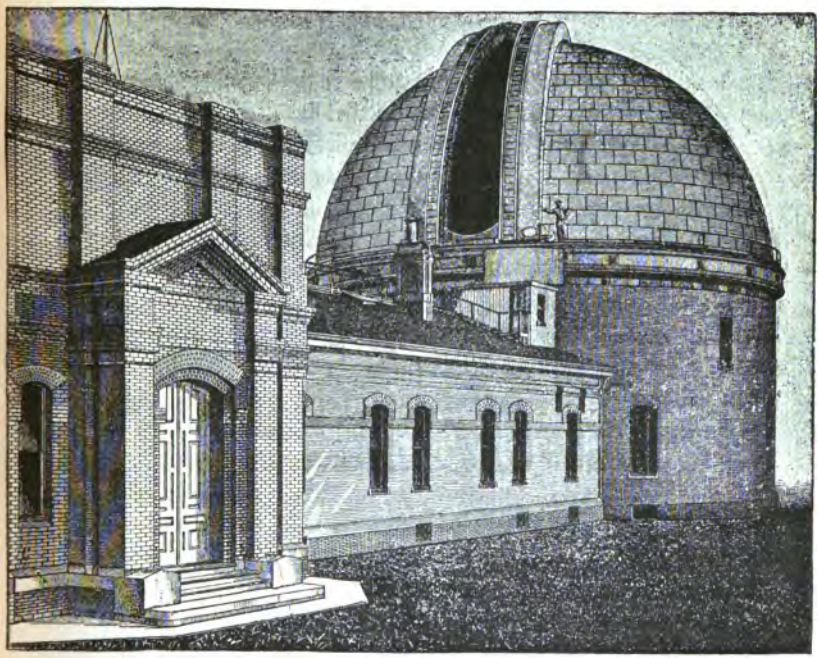
deux hémisphères, n'en pourrait montrer de fréquents exemples? Mais que des commerçants, des industriels, des fermiers, des « transformateurs de porcs », ou, en langue vulgaire, des charcutiers, consacrent des millions à fonder des établissements scientifiques de premier ordre, qu'ils encouragent largement de leurs deniers, non pas seulement l'enseignement primaire, le plus populaire de tous, mais l'enseignement supérieur, la haute culture intellectuelle, à laquelle pourtant leur éducation première les a, pour la plupart, insuffisamment préparés, comme s'ils comprenaient que c'est de cette source vive que jaillit tout progrès dans les idées, toute amélioration dans les méthodes, tout perfectionnement dans la pratique, ne reconnaîtrez-vous pas avec moi, Messieurs, que ce sentiment, ou, si vous le préférez, cet instinct d'un idéal supérieur dans toutes les classes sociales, cet effort généreux pour s'y hausser, témoigne d'une élévation constante du niveau des intelligences, et fait le plus grand honneur à la démocratie américaine?

Je disais que l'observatoire Lick s'élève sur le mont Hamilton. C'est une situation excellente; elle réunit les avantages qui firent choisir chez nous le mont Gros pour y construire l'observatoire offert à la France par M. Bischoffsheim. Comme le mont Gros domine la Méditerranée sur « la côte d'azur », de même le mont Hamilton regarde le Pacifique par-dessus les vergers et les champs de citronniers de San José. Les bâtiments ont bel aspect, sans présenter toutefois la grandeur imposante qui distingue l'observatoire de Nice, élevé par M. Garnier. Quant aux agencements intérieurs, ils sont parfaits de tous points. Par une disposition très heureuse, introduite également dans le nouvel observatoire de Washington, un plancher, mobile verticalement sous la grande lunette, permet à l'astronome d'en suivre avec facilité les déplacements.

Cette grande lunette qui était bien la plus puissante de toutes à l'époque où elle fut installée, il n'y a pas encore dix ans, a été dépassée depuis. Elle n'en reste pas moins un instrument très remarquable, à l'aide duquel M. Barnard a pu découvrir le cinquième satellite de Jupiter. Le savant astronome voulut bien nous montrer cette petite lune, située si

près de la planète que celle-ci doit y paraître un disque monstrueux, couvrant la moitié du ciel et présentant la vitesse effrayante de quatre cents kilomètres à l'heure dans la région équatoriale. La visibilité de cet astre et d'autres merveilles célestes, favorisée par une nuit splendide, prouvait l'excellence

Fig. 4.



Californie. — Observatoire Lick. — Entrée principale et dôme du grand télescope.

de l'instrument, et attestait que son pouvoir optique répond à ses dimensions. Nous avons admiré au même observatoire de belles photographies du Soleil, faites par M. Schœberlé, l'émule californien de M. Janssen; et M. Campbell nous y a fait voir des spectres très curieux.

Aujourd'hui l'observatoire Lick est un foyer scientifique de premier ordre, que M. Holden, l'éminent directeur, entretient avec un soin jaloux. Ses travaux antérieurs à l'observatoire de

Washington et sa haute valeur personnelle le désignaient pour ce poste difficile, où les talents professionnels ne suffisent pas. L'isolement presque complet auquel se condamne celui qui l'occupe, exige le concours de qualités rares : un esprit largement ouvert, une culture intellectuelle variée, et une parfaite philosophie. En pareil cas, ce n'est assurément pas un mince mérite d'être l'homme de la situation, *the right man in the right place.*

Bien que l'observatoire, Lick rattaché à l'université de Californie, soit ouvert aux hautes études astronomiques et reçoive des élèves astronomes, il y a au siège de l'université, à Berkeley, un observatoire pour les étudiants, sous la direction du professeur Soule. A San Francisco même, le pionnier de la science astronomique en Californie, le savant professeur Davidson, directeur du service hydrographique et géodésique de toute la région du Pacifique, a installé l'observatoire bien connu qui porte son nom. A Oakland, de l'autre côté de la baie, en face de San Francisco, sur le chemin de Berkeley, se trouvent encore trois observatoires astronomiques : l'observatoire Chabot, consacré spécialement à l'instruction de tous et plus particulièrement de la jeunesse des écoles, l'observatoire privé de M. Burckhalter, qui en a construit de ses propres mains toute la maçonnerie, la charpente et même le mouvement équatorial, aux heures de loisir d'une vie activement consacrée aux affaires, et l'observatoire privé de M. Blinn, qui en a aussi construit lui-même la plus grande partie.

Vous reconnaîtrez, Messieurs, qu'il n'y a peut-être pas de pays au monde où l'astronomie soit plus en honneur qu'à San Francisco, et plus accessible à tous. Car l'observatoire Lick lui-même, d'après la volonté du fondateur, est ouvert tous les jours au public, de dix heures du matin à quatre heures de l'après-midi, et le samedi de sept heures à dix heures du soir. Heureux Californiens! Pour moi, en voyant ces facilités de toutes sortes, je me reportais mélancoliquement au temps de ma jeunesse où l'astronomie populaire se réduisait chez nous à l'observatoire en plein vent que le « père Lunette » installait la nuit sur le pont Neuf. Avec quelle gravité il faisait admirer à ses clients de passage l'anneau de Saturne, son triomphe, et

les montagnes de notre satellite. Je crois même qu'en temps de crise financière le facétieux vieillard montrait aussi les trous que les banquiers peu scrupuleux font à la lune.

Combien d'observatoires célèbres à divers titres mériteraient encore d'être cités en Amérique! Et celui de Harvard, où le professeur Pickering, poursuivant les recherches de Draper, a si heureusement développé les différentes branches de la physique céleste, spectroscopie, photométrie et photographie, sans oublier les études météorologiques, pour lesquelles les astronomes de Harvard viennent d'établir une station au Pérou, à cinq mille neuf cents mètres d'altitude. Et l'observatoire de New York, où le docteur Rutherfurd a exécuté ses admirables épreuves photographiques de la Lune. Et les observatoires d'Albany (observatoire Dudley), d'Allegheny, d'Ann Arbor, de Madison (observatoire Washburn), de New Haven (observatoire de l'université Yale), de Denver (observatoire de Montclair), de vingt autres villes dispersées sur la surface entière du territoire. Et le récent observatoire de Chicago (observatoire Yerkes), dont le savant directeur, M. Hale, à peine âgé de vingt-cinq ans, est bien, lui aussi, l'homme à sa place dans cette cité qui a grandi si prodigieusement vite. Déjà renommé par ses travaux en astro-physique, il va disposer du puissant instrument qui figurait à l'exposition, et il saura bien certainement le faire servir au progrès de la science.

C'est aussi l'astro-physique qui attira M. Langley, alors qu'il était directeur de l'observatoire d'Allegheny. Notre grand Pouillet, le premier, avait réussi à mesurer la quantité de chaleur que le Soleil envoie à chaque instant à la Terre. M. Langley imagina, pour estimer la chaleur rayonnée par une source calorifique quelconque, un appareil d'une prodigieuse délicatesse, le bolomètre. Tout le monde sait que la résistance offerte par un fil métallique au passage d'un courant électrique dépend de la température du métal; on sait aussi que cette résistance peut être mesurée très exactement à l'aide d'une sorte de balance, ou, comme disent les électriciens, d'un pont muni d'un galvanomètre sensible. Un fil métallique très fin intercalé dans un pont convenablement agencé, constitue donc un thermomètre d'une ténuité et d'une sensibilité extrême. C'est sur

ce principe qu'a été construit le bolomètre, qui permet de déceler dans la température du fil une variation de un millionième de degré.

M. Langley a appliqué cet instrument à un grand nombre de questions intéressant la Physique céleste. J'avais montré par des mesures actinométriques effectuées il y a quelque vingt ans déjà, au sommet du mont Blanc, l'avantage des observations à grande hauteur. M. Langley a effectué presque au même niveau, sur le mont Whitney, en Californie, des mesures qui aideront à résoudre la difficile question de la chaleur du Soleil. Il a fait, en outre, une étude remarquable du spectre solaire jusque dans les parties les plus éloignées de l'infrarouge, là où notre œil ne saisit plus aucune lumière et où cependant existent des radiations trahies par leur chaleur seule; le bolomètre lui a permis d'aller dans cette voie beaucoup plus loin que ne l'avaient pu les précédents expérimentateurs avec les anciens thermomètres, et d'atteindre des vibrations dont la longueur d'onde est supérieure à quarante-cinq fois celle du violet; elles se trouvent, par conséquent, cinq octaves au-dessous de celles que perçoit notre œil, lesquelles sont d'ailleurs comprises dans moins d'une octave.

Un des résultats les plus curieux obtenus par M. Langley avec le bolomètre, concerne le rendement en lumière des différentes sources usuelles. Ce rendement, qui n'est autre chose que le rapport de l'énergie lumineuse à l'énergie calorifique totale, reste, en général, extrêmement faible : deux à trois pour cent avec l'arc électrique, un pour cent avec le bec de gaz, moins encore avec la bougie qui donnerait un millier d'heures de bon éclairage, si toute l'énergie disponible était dépensée en lumière. MM. Langley et Very ont découvert une source bien autrement économique, le *Pyrophorus noctilucus*, sorte de ver luisant dont le rendement lumineux est de cent pour cent. Si la lumière émise par certains insectes atteint, dans les pays chauds, une intensité suffisante pour servir de parure aux dames, il est peu probable que nous nous éclairions jamais avec des vers luisants, malgré la perfection merveilleuse de leur appareil éclairant. Mais le jour n'est pas loin peut-être où la lumière obtenue par phosphorescence dans un champ électrostatique

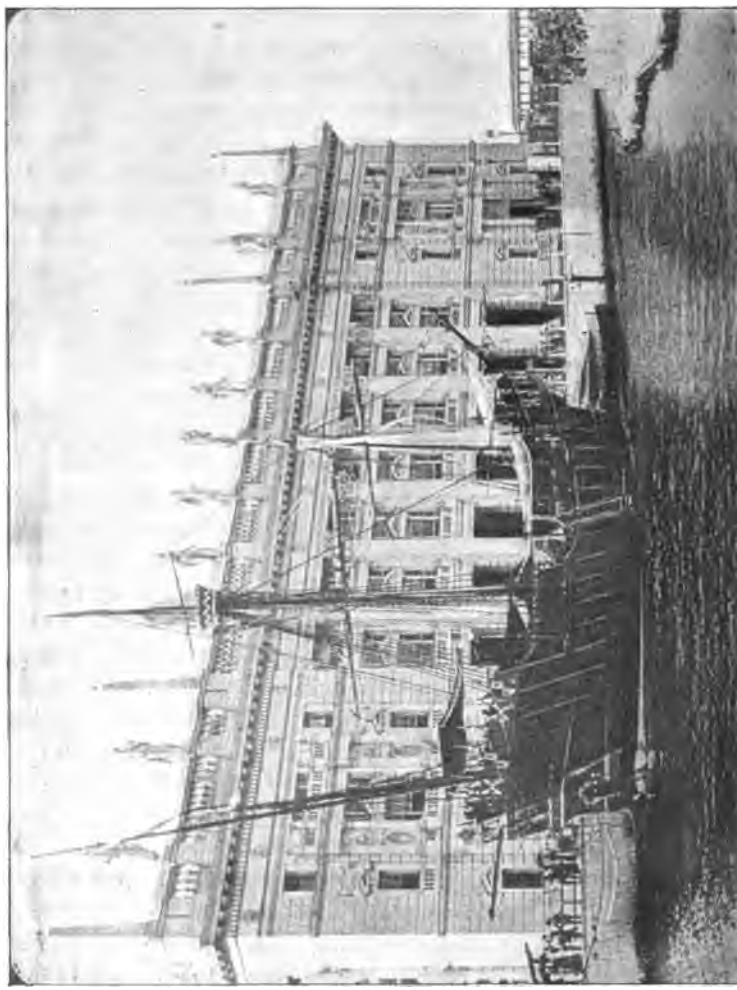
remplacera avantageusement ces lampes à incandescence, dont la gracilité brillante trahit l'origine, et dont le rendement est véritablement misérable.

La photométrie a été également l'objet des recherches de W. H. Pickering et de M. E. Nichols (de l'université d'Ithaca), qui ont étudié avec soin les propriétés de différentes sources lumineuses.

Aujourd'hui, M. Langley préside la *Smithsonian Institution*, sorte de ministère de la science, dont le budget annuel s'élève à trois millions de francs, et dont le but unique consiste, d'après la volonté expresse de son fondateur, dans « l'accroissement et la diffusion de la science parmi les hommes ». L'Institution a pris l'initiative des investigations sur le climat, les produits et l'ethnologie des États-Unis : son musée offre de très curieux enseignements sur les anciennes civilisations américaines. Ce sont les travaux de la *Smithsonian Institution* qui ont mis en évidence les voyages des hommes du Nord antérieurs à la découverte de Christophe Colomb. Aussi l'exposition de Chicago montrait-elle le vieux bateau des Scandinaves à côté des glorieuses caravelles qui semblaient être venues faire sur les bords du lac Michigan, en plein continent, une nouvelle découverte de l'Amérique. Mais quelle Amérique ! sillonnée de chemins de fer, étincelante de lumière électrique, poussant jusqu'aux dernières limites les raffinements du confortable, et déjà secouée par les grèves sanglantes et les revendications tumultueuses des « sans-travail ». On va vite aux États-Unis.

La *Smithsonian Institution* est située dans le Mail, entre le Capitole et l'Obélisque de Washington. Elle occupe un vaste bâtiment de grès rouge, en vieux style normand. Vous ne serez pas surpris d'y trouver un laboratoire où M. Langley, fidèle à ses premières amours, a installé son bolomètre avec un de ces beaux réseaux de M. Rowland que nous irons admirer à Baltimore dans l'institut où est montée la machine qui sert à les construire. Jetons auparavant un coup d'œil indiscret sur cet autre laboratoire où M. Langley poursuit ses recherches sur la résistance de l'air; car le problème de l'aviation hante aussi les cervelles américaines; mais jusqu'ici les savants qui

étudient au Nouveau-Monde « le plus lourd que l'air » ne



[Fig. 5. Exposition de Chicago. — Caravelle de Christophe Colomb.

paraissent pas avoir réussi beaucoup mieux que les nôtres à trouver une solution pratique.

Une heure de chemin de fer depuis Washington et nous voici à Baltimore, où se trouve un établissement scientifique

de premier ordre, l'université Johns Hopkins, fondée en 1876 par un marchand de Baltimore, qui la dota de trois millions et demi de dollars (près de dix-huit millions de francs). L'univer-

Fig. 6.

Washington. — Capitole.

sité Johns Hopkins est spécialement affectée aux hautes études et aux recherches personnelles : sur ses six cents étudiants, plus de la moitié sont des gradués des autres universités qui viennent y compléter leur instruction.

L'institut de physique, dirigé par M. Rowland, est remarquablement agencé pour l'électricité et pour les études spectrales,

comme l'on doit s'y attendre d'après les travaux de son directeur. Vous savez, Messieurs, qu'en analysant au moyen du prisme la lumière émanée d'une source quelconque on peut déterminer la composition chimique et même, ainsi que l'a montré M. Fizeau, le mouvement de la source suivant la ligne qui nous joint à elle; le rayon arrivant à notre œil plusieurs années après avoir quitté une étoile, nous donne sur la constitution de cette étoile, sur son âge, sur son mouvement, des renseignements dont la seule possibilité confond l'imagination. Toutefois, pour que ces renseignements deviennent exacts, il faut que le spectre soit obtenu dans des conditions parfaitement définies, ce qui est difficilement réalisable avec le prisme, tandis qu'un autre appareil, le réseau, imaginé par Fraünhofer d'après les phénomènes de diffraction, assure aux différents spectres une comparabilité absolue, la déviation de chaque couleur étant proportionnelle à sa longueur d'onde. Mais ceux qui ont eu à se servir des anciens réseaux connaissent toutes les difficultés que présente leur emploi. M. Rowland a donc rendu un service signalé à la spectroscopie par la fabrication des admirables réseaux qu'il a réussi à obtenir au moyen d'une machine spécialement construite pour cette fabrication : il a pu tracer jusqu'à quinze mille traits sur une longueur d'un décimètre.

Voici un de ces réseaux : vous voyez quels spectres brillants il produit à la lumière électrique. Si nous introduisons un morceau de sodium dans l'arc, la raie D marque sa place dans ces différents spectres. Un autre métal donne d'autres raies : chaque corps a son spectre propre.

J'ai vu à Baltimore la collection, admirable et unique au monde, des milliers de photographies de tous les spectres que M. Rowland a obtenus avec ses réseaux. Le dépouillement de ces photographies est une tâche énorme, comparable à celle du dépouillement des photographies du ciel, qui s'effectue actuellement à l'observatoire de Paris.

Les études spectrales paraissent, d'ailleurs, avoir pour les Américains un attrait spécial, car j'ai retrouvé des réseaux de Rowland en expérience au laboratoire de physique de *Yale University*, une très importante université située dans une

ville naguère encore toute petite du Connecticut, New Haven. Le laboratoire de physique de *Yale University* est dirigé par le professeur Wright, si compétent dans la science des phénomènes lumineux.

Je n'ai pas à vous rappeler que M. Graham Bell, le célèbre inventeur du premier téléphone articulant, est aussi l'auteur de l'appareil très curieux appelé par lui photophone, parce qu'il sert à transmettre les sons par l'intermédiaire d'un rayon lumineux. Appliqué à l'exploration des diverses parties du spectre, l'appareil, devenu spectrophone, pourrait rendre de véritables services dans l'étude de la partie infra-rouge.

Parmi les recherches effectuées en optique durant ces dernières années, aucune n'a aussi vivement sollicité l'attention du monde savant que celle qu'est venue poursuivre en France un jeune physicien américain, ancien officier de la marine des États-Unis, déjà célèbre par d'autres travaux de premier ordre en optique, M. Michelson. Il s'était proposé de rapporter l'étalon de longueur à la vibration lumineuse. Grâce aux précieuses ressources et à l'obligeant concours qu'il a trouvés auprès de M. Benoît, au pavillon de Breteuil, il a pu déterminer le nombre des longueurs d'onde qui, pour une radiation déterminée, sont comprises dans un mètre.

La longueur du mètre est définie par une règle de platine déposée aux archives. D'autres étalons ont été établis sur celui-là avec la plus scrupuleuse précision. Mais rien n'assure la fixité de tous ces objets matériels. Il existe, au contraire, dans la nature, un élément immuable, le seul peut-être, c'est la longueur d'onde afférente à une radiation déterminée, à la raie D du sodium par exemple. C'est donc là, comme l'a indiqué M. Fizeau, qu'il faut chercher la véritable unité de longueur, celle qui reste à l'abri de tous les accidents de ce monde. Mais cette unité de longueur vaut à peu près un demi-micron. Comment l'utiliser pratiquement, comment y rattacher notre mètre, presque deux millions de fois plus grand? Comment déterminer exactement le rapport de deux quantités si différentes? M. Michelson a réussi à le faire au moyen d'unméthode extrêmement ingénieuse qui, procédant par échelons successifs, évite l'accumulation, en apparence inévitable, des

erreurs. Vous ne serez pas surpris si j'ajoute que la ville de Chicago, qui veut être la première en tout, et qui par son exposition vient de montrer d'une façon si éclatante la puissance de sa volonté, a su attirer à elle l'auteur de ce beau travail : M. Michelson est depuis quelques mois professeur de physique à l'université de Chicago. Il y disposera du laboratoire que le président des administrateurs de l'université, M. Ryerson, vient de faire élever à la mémoire de son père avec une dotation de deux cent mille dollars (un million de francs).

Aucune branche de la physique n'est d'ailleurs négligée aux États-Unis. Si la photographie est d'origine française, elle a été dès l'abord l'objet de nombreuses et fécondes investigations de l'autre côté de l'Atlantique. Les noms des Bond, des Rutherfurd, des Draper, pour ne parler que de ceux qui ne sont plus, rappellent de remarquables progrès. Tout récemment encore, un photographe de San Francisco, M. Muybridge, invité par un propriétaire de trotteurs californiens à saisir les attitudes du cheval dans ses diverses allures, imaginait de prendre une série de photographies instantanées du cheval, qui, dans sa course, rompait les uns après les autres les fils commandant électriquement les obturateurs d'une série d'appareils photographiques braqués le long de la piste. Ces expériences ont été le point de départ d'un procédé nouveau pour étudier le mouvement, la chronophotographie, due à M. Marey.

Nous ne saurions omettre ici les remarquables travaux des Américains dans trois autres branches également françaises du savoir humain. Tandis que le professeur Rogers, de Boston, est aujourd'hui sans rival pour la construction des appareils de métrologie, M. Mendenhall, surintendant du service géodésique et hydrographique, a donné une impulsion énergique à la géodésie, et le professeur Gibbs, de *Yale University*, poursuit ses belles recherches en physique mathématique.

La mécanique a trouvé aux États-Unis sa terre d'élection. Quiconque se promène le matin dans les quartiers populeux d'une cité industrielle ne peut manquer d'être frappé d'un trait de mœurs caractéristique. Chaque ouvrier qui passe parcourt attentivement un volumineux journal qui lui a coûté au moins

dix cents (dix sous), et dans lequel les inventions récentes sont très nettement expliquées, avec description complète des appa-

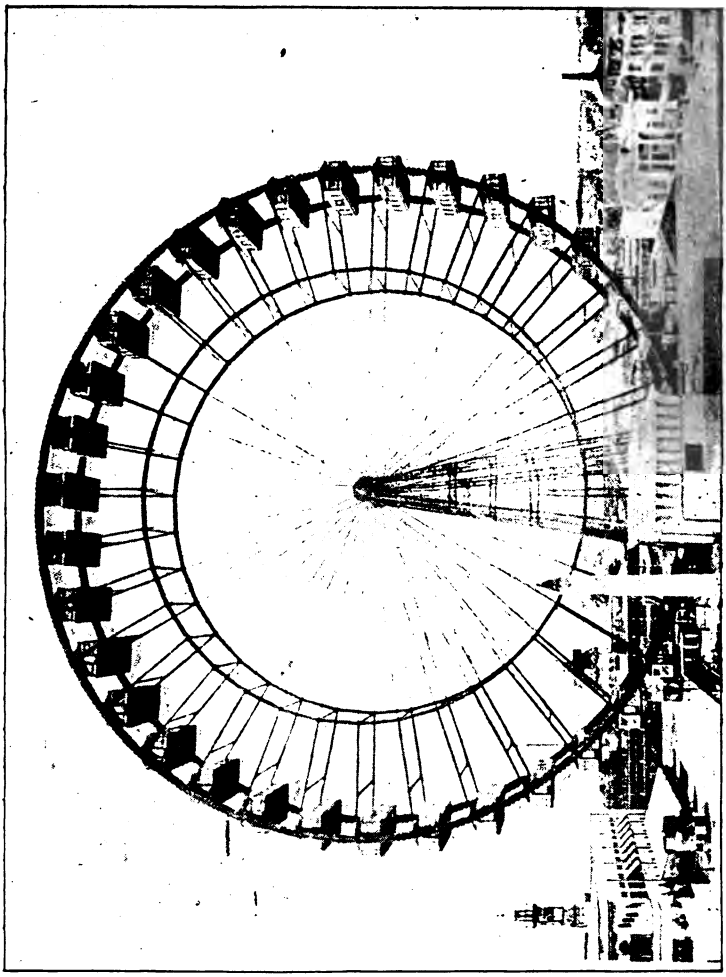


Fig. 7.

Exposition de Chicago. — Grande roue Ferris.

reils, croquis, figures et détails techniques. Il espère y trouver une indication précieuse pour donner un corps à la découverte rêvée qui l'enrichira. Tout Américain est un inventeur en puissance, épiant l'occasion de le devenir en réalité.

L'exposition de Chicago présentait un tableau grandiose de l'industrie mécanique américaine. Passons rapidement devant la fameuse roue Ferris, qui symbolisait sans doute la roue de la fortune, après laquelle tout le monde court en Amérique... et ailleurs. Le palais des machines ressemblait assez, par ses vastes proportions, à notre galerie du Champ de Mars, sans en offrir l'élégante hardiesse.

Au premier rang trônait naturellement la machine à vapeur. Est-il besoin de rappeler quelle part les Américains ont prise à son développement, depuis Evans, Fulton et les Stevens, jusqu'à Corliss et aux ingénieurs actuels?

Tout d'abord, l'ensemble de la chaufferie attirait vivement l'attention. La vapeur consommée dans le palais des machines était produite en totalité par une batterie de quarante chaudières tubulaires, à circulation très active et chauffée au pétrole, qu'une canalisation spéciale apportait de l'Indiana à la *World's Fair*. Un jet de vapeur d'eau, lançant dans chaque foyer le pétrole et l'y pulvérisant pour ainsi dire, réglait si bien la combustion que deux hommes suffisaient à conduire tous les foyers de la batterie. Un troisième, commodément installé dans une guérite, surveillait sans fatigue les cheminées placées au-dessous de lui, et si l'une ou l'autre venait à fumer, il en avertissait télégraphiquement les conducteurs, qui rétablissaient aussitôt la marche régulière. A voir ces braves gens, fort propres et de blanc vêtus, en manière de vestales, on ne reconnaissait guère le chauffeur classique. Pendant la durée entière de l'exposition, le chauffage au pétrole a pleinement réussi; ses mérites semblent donc surabondamment prouvés. C'est surtout dans les machines mobiles, comme Henri Sainte-Claire Deville l'avait montré, il y a trente ans, par ses expériences au chemin de fer de l'Est, qu'apparaît l'avantage marqué de ce combustible, puisque, pour la même puissance calorifique, il occupe un volume trois fois moindre que la houille.

Parmi les machines à vapeur, on ne rencontrait guère de nouveauté importante à signaler. Exceptons pourtant la turbine de M. de Laval, exposée dans la section suédoise : la vapeur se détend complètement dans les tubes lanceurs, et la roue se trouve poussée par le courant rapide d'un fluide

homogène. Si alors, laissant à la roue un jeu suffisant, on la monte sur un axe flexible, elle prendra une stabilité spéciale avec la vitesse prodigieuse de vingt-cinq à trente mille tours par minute. L'appareil, de dimension très restreinte, exécute un travail considérable et suffisamment économique. D'après les essais officiels faits à Stockholm sur une turbine de soixante-quatre chevaux, la consommation par heure et par cheval effectif ne s'élèverait qu'à neuf kilogrammes de vapeur.

C'est principalement l'ampleur des proportions qui distinguait les machines américaines. Entre autres, on en remarquait une à quadruple expansion (*Pl. VI*), produisant à l'ordinaire deux mille chevaux, et capable d'en développer quatre mille. Son poids total dépassait trois mille tonnes. Le volant, qui avait neuf mètres de diamètre et pesait soixante-dix tonnes à lui seul, effectuait soixante tours en une minute. Ce colosse appartenait à la Compagnie Allis, de Milwaukee, la cité la plus importante du Wisconsin, sur les bords du lac Michigan. Au moyen de deux énormes courroies, la machine commandait deux grandes dynamos Westinghouse, pouvant alimenter trente mille lampes de seize bougies. Comme contraste avec ces courroies d'une largeur inusitée, on trouve fréquemment, à l'intérieur des usines, le système de transmission par cordes, évidemment imité des funiculaires, et paraissant surtout avoir pour objet d'éviter l'encombrement.

Dans un pays aussi riche que l'Amérique en fleuves et en rivières, l'usage des machines hydrauliques est naturellement très répandu. Les turbines servent à utiliser les chutes d'eau les plus modestes ou les plus puissantes, et jusqu'à celles du Niagara. On emploie beaucoup, pour les travaux des mines particulièrement, la roue Pelton, sorte de roue Poncelet, dont l'auget, divisé en deux par une cloison perpendiculaire à l'axe, présente certains avantages; l'appareil est robuste, peu coûteux et d'un bon rendement.

Les organisateurs de la *World's Fair* avaient tenu à honneur de rassembler, dans une collection complète, toutes les pièces de l'outillage rural, qui sont, pour ainsi dire, les armes parlantes des États-Unis. Sur un vaste espace s'alignait le gros matériel, destiné notamment aux immenses domaines du

centre et de l'Ouest, où la culture extensive a rendu nécessaire l'exploitation industrielle du sol. Le progrès dans ce sens ne s'arrête pas, et dès maintenant les machines agricoles de fabrication américaine sont arrivées à un degré de perfection et de bon marché qui leur assure de larges débouchés, même en Europe. Par une économie bien entendue, les parties des instruments qui n'ont pas besoin d'être ajustées sont laissées brutes de fonte. N'est-ce point là une image assez exacte de la civilisation au Nouveau-Monde, polie et raffinée sur plusieurs points, mais manquant de fini sur d'autres?

Un coin spécial était réservé aux moulins à vent, dont les services paraissent fort appréciés surtout par ce qui reste encore de petits cultivateurs aux États-Unis. L'œil s'égayait à voir tourner sans cesse ces innombrables roues de toutes tailles, à peu près semblables, pour la forme, aux ventilateurs minuscules que l'on remarque chez nous à la devanture de quelques magasins.

N'oublions pas non plus les pompes diverses, très ingénieusement construites : pompes à eau, pompes à air. Cette dernière catégorie comprenait les brosses pneumatiques, espèces de pulvérisateurs qui peuvent rapidement couvrir de peinture des surfaces très étendues. On s'en était précisément servi pour peindre en quelques jours les immenses bâtiments de l'exposition. Les visiteurs indigènes s'intéressaient tout spécialement aux pompes à incendie, rotatives, chauffées au pétrole et d'un puissant débit. Le feu est le cauchemar des Américains; rien d'étonnant à cela dans un pays où beaucoup de villes sont bâties en bois. Et pourtant, une telle sève de jeunesse déborde partout, que le feu même, par ses ravages, semble moins faire des ruines qu'enlever d'un coup toutes les gourmes et préparer la place pour une transformation soudaine et complète. C'est ce qui advint notamment à Chicago, dont la renaissance heureuse et le développement rapide paraissent dater du jour, peu éloigné encore, où des quartiers entiers furent détruits par les flammes. L'incendie activait la marche du progrès.

Un vieil habitant de la ville, si florissante aujourd'hui, me racontait qu'il avait vu soixante ans auparavant, à cette même place, un pauvre hameau à peine peuplé, que protégeait un

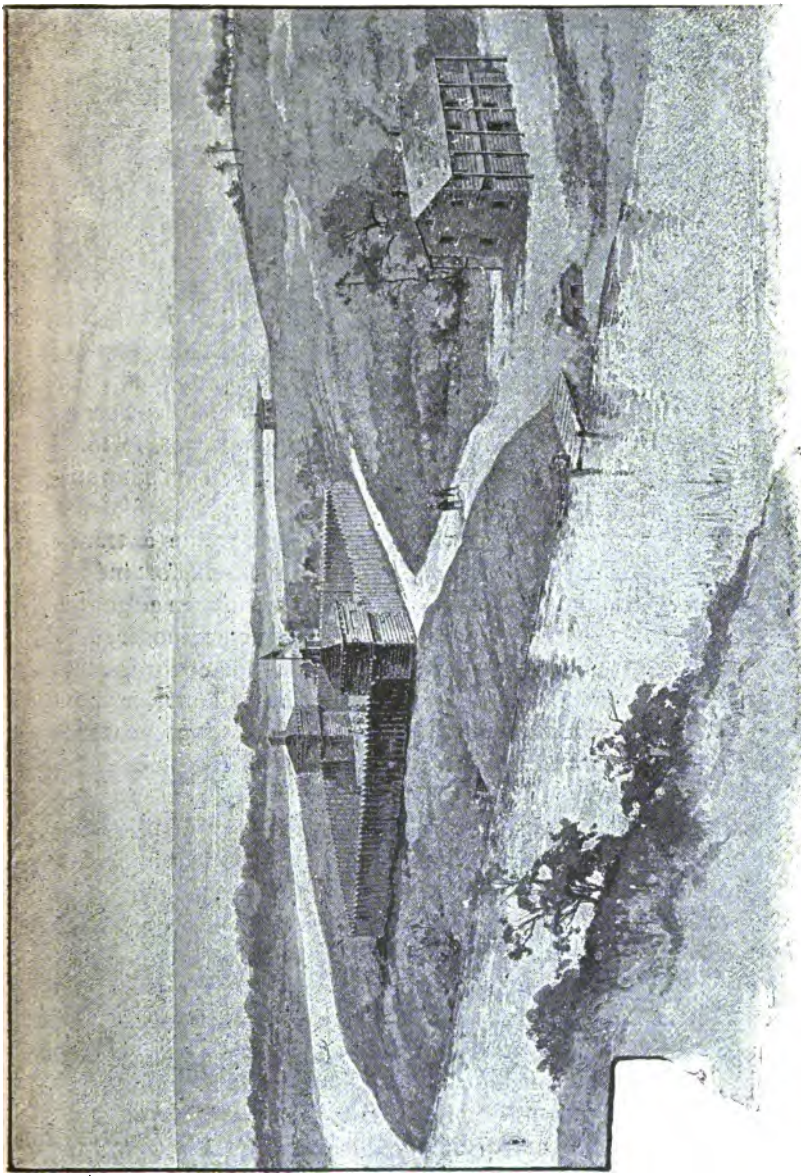


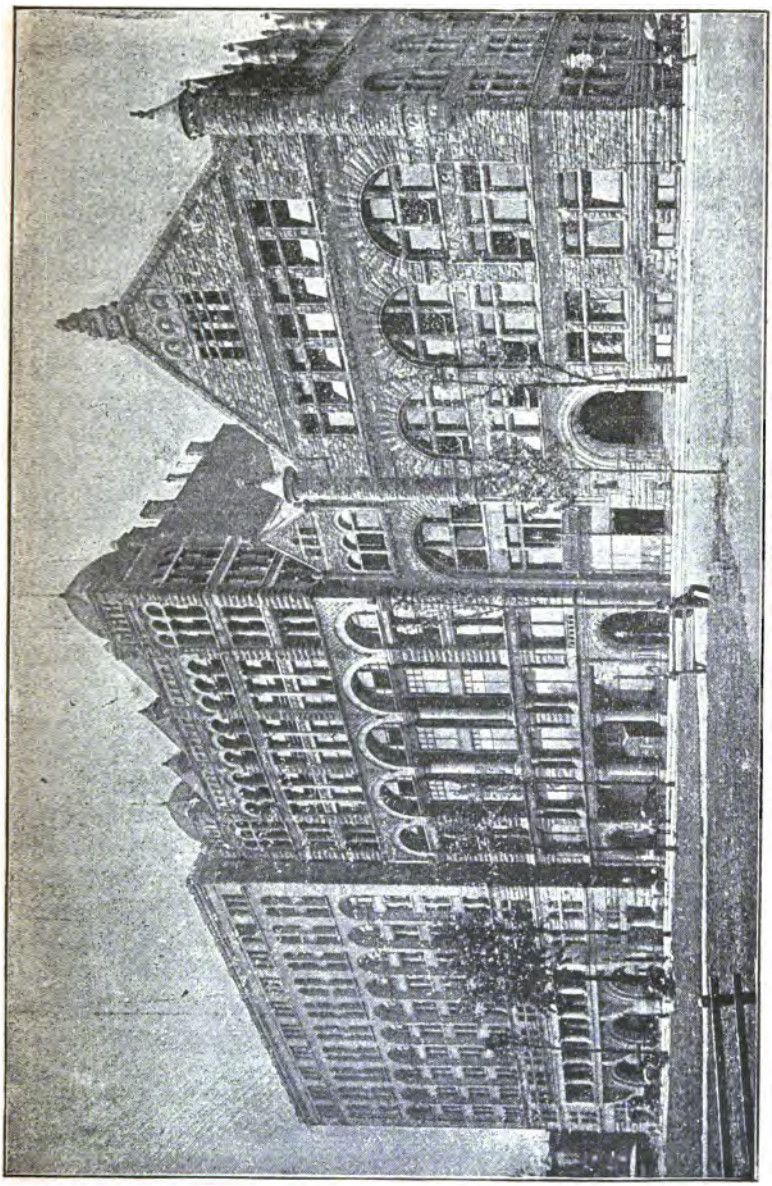
Fig. 8. — Vieux Chicago. — Fort Dearborn.

petit fortin. Le tout Chicago féminin se composait alors de onze femmes, employées comme servantes chez les fournisseurs de la garnison. Elles étaient l'ornement des bals donnés par les officiers du fort, quoique des occupations beaucoup plus modestes les retinssent toute la journée près de leurs fourneaux, qui n'étaient pas chauffés à l'électricité. En écoutant ce récit, j'admirais le panorama de la vaste cité qui se déroulait sous nos yeux, ses grands parcs, ses belles avenues aux maisons largement espacées, ses rues immenses sillonnées de tramways, ses *buildings* imposants, ses pompeux édifices, son *Auditorium*, ses élévateurs gigantesques, son port plus actif que celui de Londres, ses chemins de fer plus nombreux qu'en aucune capitale du monde. Çà et là aussi s'étendaient de longues voies sans monuments quelconques, mais déjà pourvues des bornes d'eau et des poteaux portant les fils pour l'éclairage, le téléphone et le car. *Go ahead!* en avant, toujours; les maisons suivront.

Actuellement cette initiative infatigable travaille à transformer l'industrie par la substitution générale de l'effort mécanique à l'effort humain. Entre autres curieux essais en ce genre, l'exposition de Chicago montrait une machine à composer, déjà employée aux États-Unis, quoique imparfaite encore, mais appelée certainement tôt ou tard à supprimer l'ouvrier dans la typographie comme ailleurs. Les magasins n'ont pas précisément supprimé les commis; du moins les remplacent-ils, pour une part importante de leur besogne, en évitant les pertes de temps et les déplacements inutiles. Un léger corbillon se charge de porter votre argent à la caisse et vous rapporte la monnaie; un autre corbillon semblable vous accompagne de comptoir en comptoir, reçoit vos menues acquisitions, et vous les remet fidèlement à la fin de votre tournée. Le commerce y gagne; et les corbillons ne chôment guère : car les élégantes acheteuses se trouvent plus libres que jamais de poursuivre, au gré de leur fantaisie, la paresseuse promenade à travers les étalages tentateurs, le *shopping*, qui paraît être leur passe-temps préféré.

Le triomphe de la mécanique américaine, c'est la construction des machines-outils, dont l'importance aux États-Unis

Fig. 9.



Chicago. — Auditorium et autres *buildings*.

s'accroît chaque jour. On sait leur donner toutes les formes

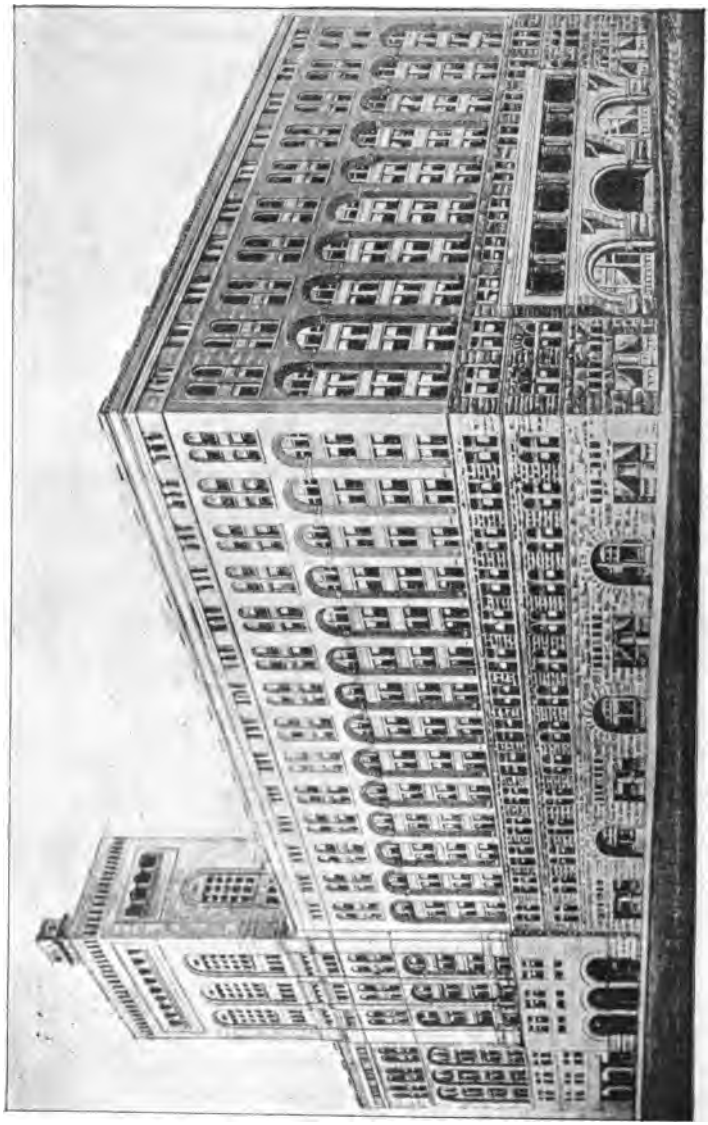


Fig. 10. Chicago. Auditorium.

et les plier à tous les usages. Les unes, véritables merveilles

d'ingéniosité et de précision, servent à découper les menuiseries fines, à fabriquer de délicates moulures sur bois ou des engrenages métalliques renommés pour leur perfection. D'autres, au contraire, sont des colosses de puissance et atteignent des

Fig. 11.

Chicago. — Élévateurs.

dimensions exceptionnelles. Mentionnons en ce genre certaines machines à fraiser, à raboter, à presser, et au premier rang la fameuse pressedesforges de Be thl ehem, qui surpasse les plus célèbres marteaux-pilons. Elle est alimentée par trois machines à vapeur, de cinq mille chevaux chacune, et peut produire une pression de quatorze mille tonnes.

Aujourd'hui, en Amérique, les montres, les machines à coudre ou à écrire, les moteurs pour tramways, etc., ne contiennent pas une seule pièce qui ne soit faite mécaniquement et qui ne puisse donc être immédiatement remplacée, en cas d'accident, par une pièce identique. Ne fabrique-t-on pas jusqu'aux scies à dents rapportées? Ces procédés ont leurs avantages incontestables. Mais aussi les conditions nécessaires du système, les frais considérables d'installation, d'agencement et d'outillage exigent un débit assuré de plusieurs milliers du même article par jour, et ne se concilient guère qu'avec une fabrication par séries, excluant toute variété. La tendance générale paraît être en effet l'uniformité du type. L'horlogerie, par exemple, n'admet que six modèles de montres, trois pour les femmes et trois pour les hommes. Il en est ainsi, plus ou moins, dans les différentes branches de l'industrie américaine. Les fabricants établissent un objet quelconque, le reproduisent à l'infini par les moyens mécaniques, le lancent sur le marché qu'ils inondent, puis recommencent pour un objet nouveau, toujours de façon semblable. Rien de plus difficile que d'obtenir des modifications, fussent-elles légères, au type adopté *ne varietur*.

Une pareille simplification de méthode industrielle et commerciale, fort commode évidemment, pourra-t-elle être maintenue sans risques, dès que les tarifs prohibitifs cesseront d'empêcher la concurrence extérieure? Elle ne saurait convenir aux industries où l'art et la fantaisie dominent. Les peuples d'Europe, qui avaient jusqu'ici la supériorité sur ce point, feront bien de la conserver à tout prix; c'est par là principalement qu'ils seront capables de lutter contre leurs redoutables rivaux d'outre-mer.

Pour vaincre dans le domaine industriel, le génie inventif ne suffit pas. Quel est le pays où les découvertes géniales abondent? Il faut encore le coup d'œil juste, qui saisisse la portée d'une invention, et l'activité entreprenante qui ose aussitôt la mettre à profit. Ces qualités essentielles, l'Américain les possède au plus haut degré.

L'usage des billes d'acier, destinées à réduire le frottement dans des proportions sensibles, est de date assez récente en

mécanique. Nous ne l'appliquons guère qu'à la construction des vélocipèdes. L'adoption de cet ingénieux procédé se généralise aux États-Unis, si bien que la fabrication des billes est devenue, elle-même, une industrie déjà florissante. L'exposition de Chicago montrait plusieurs paliers à billes pour machines dynamo-électriques et un curieux dispositif d'ascenseur, dans lequel une série de billes d'acier circule indéfiniment entre la vis et l'écrou.

Faute d'innovation, on excelle en Amérique à tirer parti des inventions antérieures, auxquelles nous ne savons pas toujours demander les services qu'elles pourraient nous rendre. Qui ne connaît le phonographe de M. Edison? A vrai dire, il ne figure guère chez nous qu'à titre de curiosité scientifique ou d'amusette. Parfois, dans certains banquets, à l'heure douloureuse des toasts, le petit appareil, solennellement apporté sur la table, répète d'une voix enrouée le compliment de circonstance qu'un illustre étranger adresse au président de la réunion. Nous l'avons adapté aussi à des poupées savantes. Aux États-Unis, le phonographe est devenu un auxiliaire quotidien, une façon de secrétaire intime, complaisant et ponctuel. L'Américain rentre chez lui, le soir, après une journée laborieuse. Il doit composer un discours ou un article, préparer une leçon ou un mémoire, rédiger sa correspondance. Écrire, quel supplice et quelle perte de temps! Notre homme parle son discours, son rapport, sa leçon. Le phonographe docile enregistre, et le lendemain il redit fidèlement l'improvisation qu'une miss matinale transcrit rapidement au moyen de la machine à écrire.

Mentionnons aussi l'idée ingénieuse, consistant à faire du phonographe un professeur de déclamation et de chant. Malheureusement, sa voix ne nous paraît pas encore assez nette pour lui permettre de jouer utilement ce rôle. On avait bien essayé quelque chose de ce genre à l'exposition de Chicago: le phonographe donnait une leçon de français à un Anglais; j'avoue n'avoir reconnu qu'imparfaitement l'accent de ma langue natale.

Voulez-vous un autre exemple de savoir-faire pratique, emprunté aux choses les plus ordinaires de l'existence? Il y a aux

États-Unis des cars électriques et des tramways funiculaires à profusion. La traction mécanique n'est encore à Paris que l'exception rare : la traction animale reste la règle. On dirait que nous sommes toujours au temps de Buffon, où le cheval était la plus noble conquête de l'homme sur la nature. Ensuite, en Amérique, les funiculaires marchent, les voitures circulent sans cesse et transportent rapidement les voyageurs. Pas d'attentes mortelles aux stations, ni de règlement tracassier; pas de contrôleur réclamant au public ahuri ses correspondances ou ses numéros avec l'air aimable du gendarme demandant à un vagabond ses papiers. Monte qui peut, le nombre des places n'est limité que par l'espace et les lois de la physique; et encore. On se case à la diable, on s'empile, assis, debout, accroché d'une manière quelconque. Du moins on est transporté et l'on arrive vite; voilà le point essentiel, pour ce que transporter est le propre des véhicules.

Maintenant, l'avouerai-je tout bas? j'ai vu de mes yeux, dans ces tramways, des dames rester sur leurs jambes, tandis que d'honorables messieurs, sans avoir l'air de le remarquer, ne quittaient pas les banquettes. Et nous, qui répétions bonnement, d'après les oracles, tant de belles phrases lapidaires sur le culte de la femme aux États-Unis! Encore une légende qui s'en va. Mais non, chaque chose avait son jour à Chicago; c'était le jour du sans-gêne.

L'exposition des moyens de transport, de la « transportation », comme on dit là-bas, constituait d'ailleurs un des grands succès de la *World's Fair*. On y trouvait réunis les divers modèles des locomotives successivement employées, depuis la première qui roula sur le continent américain et qui, malgré son âge avancé, était venue bravement de New York à Chicago. Parmi ces vétérans des voies ferrées, certains types curieux attiraient l'attention, particulièrement la locomotive à deux cheminées, avec le mécanicien au milieu, faisant marcher dans un sens ou dans l'autre son cheval de fer à double poitrail. La série se terminait par les énormes machines actuelles, haut perchées sur roues, spécialement construites pour entraîner à toute vitesse les immenses wagons qui sont fabriqués à Chicago

même, où les ateliers de M. Pullman forment une petite ville dans la grande cité.

En fait de transportation, signalons au passage une branche de cette industrie totalement négligée par notre Europe rou-

Fig. 12.

Exposition de Chicago. Palais de la *transportation*.

tinière : c'est le déménagement des maisons. Comme le sage, l'Américain aime à emporter tout avec lui, voire même sa demeure. Sans doute l'opération est plus compliquée que de rouler le tonneau de Diogène, mais au moins a-t-on l'avantage de ménager ses meubles et ses bibelots. Il n'est pas rare aux

États-Unis de rencontrer des maisons qui se promènent, portées sur d'énormes trucs. L'une d'elles, haute de trois étages, et construite en briques, resta plusieurs jours, l'hiver dernier, près de l'église des Canadiens à Chicago, échouée dans les neiges au beau milieu de la rue. Personne ne s'en plaignait. Je n'ai pas entendu dire qu'elle ait été conduite au poste de police pour cause de vagabondage.

Légalement, ces maisons ambulantes doivent-elles être classées dans la catégorie des immeubles? Ne pourrait-il pas s'élever à ce sujet, en matière de testaments ou d'impôts, certaines difficultés de casuistique judiciaire? Je soumets humblement la question aux légistes américains, dont l'habileté est proverbiale.

La magie des phénomènes électriques devait plaire tout particulièrement à un peuple ami du merveilleux. Aussi l'électricité s'est-elle développée aux États-Unis avec une intensité vraiment prodigieuse. La moindre bourgade possède son réseau téléphonique, ses ascenseurs, ses ventilateurs, ses moteurs, ses presses électriques, car elle a toujours son journal, ou plutôt ses journaux. Avant tout, elle tient à honneur d'être éclairée électriquement. Ce système d'éclairage est employé même dans les régions où le pétrole ne coûte presque rien, où le gaz naturel est si abondant, qu'on néglige de l'éteindre le matin pour n'avoir pas la peine de le rallumer le soir.

Enfants gâtés de la nature, les Américains agissent avec elle en vrais prodigues. Le gaspillage des richesses du sol est infini et universel. J'ai vu, à Chicago, brûler sur la voie les vieilles traverses de chemins de fer : on s'épargnait ainsi l'ennui de les enlever. Et quelle consommation abusive de bois, partout, dans les maisons, dans les trottoirs des rues, dans les poteaux télégraphiques avec leurs solives horizontales portant jusqu'à deux cents fils. « Le reboisement de nos cités », me disait un indigène. En revanche, le déboisement des campagnes a été poussé si loin que, dans le pays des antiques forêts vierges, on montre aujourd'hui aux étrangers, à titre de pièces curieuses, quelques spécimens d'arbres séculaires, respectés jusqu'ici par la cognée.

L'électricité remplissait à l'exposition un très large espace, correspondant bien à la place importante qu'elle occupe dans la vie quotidienne aux États-Unis. Non seulement la reine de

Fig. 13.

Exposition de Chicago. — Palais de l'électricité.

notre époque avait son palais spécial : elle faisait encore brillante figure au palais des machines, et on la retrouvait aussi dans plusieurs pavillons isolés. Cette dissémination, qui ne facilitait pas précisément les comparaisons et les recherches, était le défaut général de la *World's Fair*. Bien que mal agencé, le tableau ne laissait cependant pas d'être imposant;

j'en retiendrai seulement ici quelques traits caractéristiques.

L'appareil qui attirait le plus vivement l'attention des visiteurs au palais de l'électricité était le télautographe, imaginé par le professeur Elisha Gray à l'effet de transmettre l'écriture. Deux styles, installés le premier à la station de départ, le second à la station d'arrivée, sont commandés chacun par deux fils, dont les longueurs respectives définissent la position du style en coordonnées bipolaires. Chaque fil s'attache, d'une part, au style et s'enroule, d'autre part, sur une poulie qui, dans l'appareil récepteur, exécute un mouvement identique à celui de la poulie correspondante dans l'appareil transmetteur. Inutile d'ajouter que cette identité est obtenue au moyen de courants électriques circulant entre les deux stations, qui doivent être reliées par quatre fils distincts. Si l'on trace des lettres, des dessins quelconques avec l'un des styles, l'autre répète les mouvements du premier et trace les mêmes lettres, les mêmes dessins. Tel qu'il est disposé, cet ingénieux instrument se prêterait fort bien aux communications urbaines; certains changements seraient sans doute nécessaires pour les transmissions à longue distance.

C'est par la puissance que se marquait surtout le progrès dans les machines dynamo-électriques; il y en avait de mille et même de deux mille chevaux. Nous voilà loin de la première petite machine présentée par M. Gramme à l'Académie des Sciences de Paris en 1871. Cinq ans plus tard, les machines Gramme faisaient leur apparition à Philadelphie, et le gouvernement américain s'empressait d'acquérir tous les modèles exposés. Dès lors commença aux États-Unis l'industrie des dynamos qui a pris depuis cette époque un si bel essor.

Dans les machines à courant continu, dont le rendement ne peut plus guère être augmenté, on observe, en Amérique et en Europe, la même tendance vers un type unique, caractérisé par un inducteur multipolaire et un induit en anneau ou en tambour, avec dents de Paccinotti. L'intensité du courant engendré peut aller jusqu'à plusieurs milliers d'ampères, avec une densité moyenne de trois ampères (dix dans la machine Desroziers) par millimètre carré. La tension ne dépasse guère cinq cents volts, l'expérience ayant montré que l'isolement

devient très difficile à maintenir pour des courants continus d'un voltage supérieur.

Comme exemple de machine moderne, nous citerons celle que la compagnie générale électrique, résultant de la fusion des anciennes compagnies Edison et Thomson-Houston, avait construite pour fournir le courant au chemin de fer intra-mural : c'était une machine à douze pôles, avec un anneau ayant cinq mètres de diamètre, pesant trente-quatre tonnes et tournant à soixante-quinze tours par minute : des balais en charbons, au nombre de six par pôle, recueillaient le courant qui mesurait deux mille cinq cents ampères sous cinq cent cinquante volts, représentant une puissance d'environ deux mille chevaux.

Pour les courants alternatifs, plusieurs milliers de volts ne sont pas un obstacle à l'isolement; et comme la puissance électrique, ou le nombre de watts disponibles, est représentée par le produit du nombre des ampères par le nombre des volts, il en résulte que les courants alternatifs conviennent admirablement au transport de l'énergie, car, le voltage pouvant être décuplé, on aura la faculté de réduire au dixième le nombre des ampères et par conséquent au centième le poids du fil de transmission, tout en transmettant le même nombre de watts.

Si les courants alternatifs s'emploient avec succès pour l'éclairage, ils se prêtent moins bien à actionner des moteurs. Les Américains ont cependant toute confiance dans l'emploi industriel des moteurs à courants alternatifs. M. Elihu Thomson avait déjà présenté à l'exposition de 1889 à Paris un appareil où la difficulté principale du système était ingénieusement résolue, et, depuis cette époque, M. Tesla a combiné un moteur synchrone, actuellement en usage dans une usine du Colorado.

L'attention des électriciens était vivement sollicitée par le groupement particulier des courants alternatifs qui donne des champs tournants et se prête fort bien, en conséquence, à l'actionnement des moteurs. Ce mode de groupement peut d'ailleurs être appliqué à un nombre quelconque de courants (courants biphasés, triphasés, etc.). M. Tesla avait fait

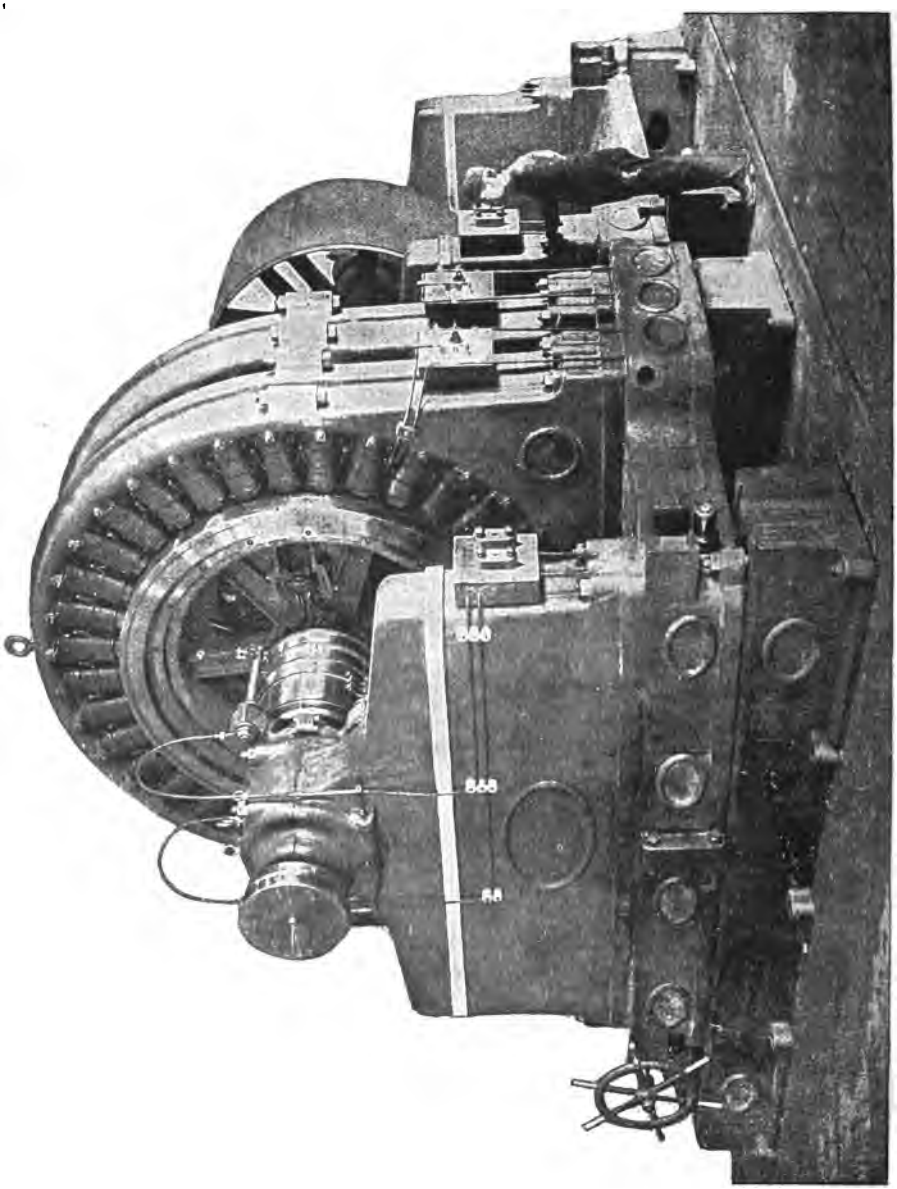


Fig. 14. — Exposition de Chicago. — Alternateur biphasé de 750 kilowatts, construit par la compagnie Westinghouse.

construire par la compagnie Westinghouse douze énormes machines, de sept cent cinquante kilowatts (mille chevaux) chacune, engendrant des courants biphasés dont on verra

Fig. 15.

Chutes du Niagara. — Vue d'ensemble.

bientôt l'application sur une vaste échelle aux chutes du Niagara. Les machines de l'exposition produisaient directement à deux mille volts les courants qui servaient à l'éclairage général et à la mise en marche de divers appareils dans le palais de l'électricité. On conservera le même voltage au Niagara, mais la puissance sera cinq fois plus grande.

Vous savez qu'en avant des chutes le Saint-Laurent a environ quinze cents mètres de largeur. Il se divise à Goat Island en deux branches dont l'une alimente la chute américaine

Fig. 16.

Chutes du Niagara. — Le « fer à cheval ».

(large de trois cents mètres, haute de cinquante-cinq mètres), l'autre la chute canadienne, le « fer à cheval » (large de mille mètres, haute de cinquante); le volume d'eau qui passe aux chutes est d'un demi-million de mètres cubes par minute. La prise d'eau pour l'usine électrique se fait par un tunnel qui a pour section dix mètres sur six et qui s'ouvre à deux kilomètres

au-dessus des chutes pour aboutir au pied du pont suspendu du chemin de fer (un peu avant les fameux tourbillons), de façon à ne gêner en rien le merveilleux spectacle des chutes.

Fig. 17.

Niagara. — Les « tourbillons ».

L'énergie produite, correspondant à cent cinquante mille chevaux, doit être transportée en majeure partie à trente-cinq kilomètres dans Buffalo, où cependant le prix de la tonne de houille ne dépasse guère cinq à six francs. L'expérience est donc fort intéressante pour l'économiste comme pour le physicien.

Les tramways électriques ont pris un développement considérable aux États-Unis. Près de vingt mille voitures y circulent sur plus de dix mille kilomètres. La vitesse, qui atteint trente-cinq kilomètres à l'heure en rase campagne, est de vingt kilomètres dans les villes, arrêts compris. Un moteur de vingt à soixante chevaux, porté par la voiture, reçoit le courant issu d'une station centrale et transmis par un fil aérien ordinairement à cinq cents volts. La communication s'établit au moyen d'une perche flexible, dressée sur la voiture même et venant appuyer par son extrémité supérieure contre le fil de transmission pour y emprunter le courant. Le *trolley* nous paraîtrait sans doute trop disgracieux dans les villes, où nous préférons les accumulateurs, dont l'usage est tout à fait exceptionnel en Amérique. On commence cependant à s'en servir pour les voitures de louage.

Deux systèmes de locomotion par l'électricité fonctionnaient à l'exposition de Chicago : le chemin de fer intra-mural et le trottoir mobile.

Le train de l'intra-mural comprenait quatre ou cinq voitures, dont l'une était munie d'un moteur de cent vingt-cinq chevaux. Pendant la journée consacrée spécialement aux chemins de fer, *railroad day*, on attela jusqu'à huit voitures qui emmenèrent chaque fois plus de huit cents voyageurs, et transportèrent ainsi du matin au soir soixante mille personnes. Le même jour, une locomotive électrique lutta, sans trop de désavantage, contre une locomotive à vapeur de la ligne Baltimore-Ohio, quoique ne pesant pas le quart de sa puissante rivale.

Quant au trottoir mobile, dont l'idée, on le sait, fut mise en avant par M. Henard à propos de notre dernière exposition universelle, il se développait suivant une ligne sans fin, d'environ treize cents mètres, et se composait essentiellement de deux plates-formes superposées. La plus large, avançant de cinq kilomètres à peu près par heure, servait d'accès à la plus étroite qui, reposant sur la première, marchait à dix kilomètres. Le passage du sol à la première plate-forme et de celle-ci à la deuxième était plus facile que la montée dans un tramway de faible vitesse. Comme pour l'intra-mural, la prise de courant se faisait sur un seul rail médian isolé. On pouvait, avec une

dépense de cent chevaux, transporter trente mille personnes à l'heure.

Du reste, ce trottoir mobile, placé sur une espèce de promontoire solitaire et ne présentant aucune application pratique, constituait simplement un hors-d'œuvre curieux de la *World's Fair*. Comment les Américains n'ont-ils pas encore réalisé la mobilisation des trottoirs dans leurs cités populeuses, où les rues, à certains moments de la journée, sont envahies par un véritable flot humain? Les rues qui marchent, quel système conviendrait mieux à des gens toujours pressés, toujours absorbés par le souci des affaires, allant droit devant eux sans regarder personne, ni tourner la tête (le *cant* l'interdit), fût-ce pour se réjouir les yeux par la vue d'une *professional beauty?*

Une exposition dans la patrie d'Edison devait être le triomphe de la lumière électrique. Dès le soir venu, cent vingt mille lampes à incandescence de seize bougies s'allumaient de tous côtés et cinq mille arcs répandaient leur clarté lunaire sur les palais de « la ville blanche » qui méritait alors plus que jamais son surnom. Cette illumination exigeait une force motrice de cent vingt mille chevaux.

Tous les jours le nombre augmente des besognes très diverses que les Américains demandent à l'électricité d'accomplir. C'est elle qui règle la ventilation des appartements et la marche des ascenseurs, dont la vitesse atteint jusqu'à trois mètres par seconde, au lieu de trente ou quarante centimètres par seconde, comme chez nous.

On l'utilise également, au moyen d'un courant intense produit par transformateur, à souder les rais d'une roue, la pointe d'un obus, les rails d'un chemin de fer, et, dans ce dernier cas, un wagon porte le long de la voie la machine à souder. Cette soudure des rails offre l'avantage de supprimer les secousses qui se renouvellent sans cesse à chaque passage d'un rail au suivant. Les expériences faites jusqu'ici semblent prouver qu'une ligne continue peut supporter, sans inconvénient, les modifications amenées par les variations de la température atmosphérique.

C'est encore l'électricité dont les multiples services remédient, pour une bonne part, à la cherté des vivres et à la disette

des domestiques, en permettant de substituer la machine-outil à l'homme dans les travaux de la petite industrie, et même dans les soins du ménage : elle taille les habits, fait la cuisine, et au besoin cire les bottes. On l'emploie aussi à lancer sur les nuages ces mirifiques réclames dont les Américains ont le secret. A quoi ne l'emploie-t-on pas? Franklin « ravissait la foudre au ciel » pour en préserver les humains à l'aide du paratonnerre. Ses descendants font de l'électricité un tonnerre légal, assez maladroit d'ailleurs, foudroyant les criminels sur mandat de justice.

Le Congrès des Électriciens, réuni à Chicago, a voulu reconnaître la contribution importante apportée par le Nouveau-Monde au progrès de l'électricité en donnant au coefficient d'induction le nom d'un vétéran de la science aux États-Unis. Depuis Joseph Henry, les travaux spéculatifs n'ont pas cessé d'avoir en Amérique de dignes représentants, parmi lesquels M. Trowbridge, le jeune professeur de l'université Harvard, a déjà marqué sa place. Cette même université confiait récemment la chaire de physique à M. Hall, qui venait de découvrir un phénomène électromagnétique présentant sous un jour nouveau les rapports de l'électricité avec la matière.

Le mouvement scientifique est toujours et partout le résultat de la haute culture intellectuelle; nous pouvons donc être assurés que les États-Unis possèdent un enseignement supérieur digne d'une grande nation.

La plus ancienne et la plus importante université d'Amérique est le collège Harvard, fondé en 1636 par les puritains d'Angleterre réfugiés au Massachusets, et particulièrement par John Harvard, ministre non-conformiste, gradué du collège Emmanuel de Cambridge. La petite localité où furent construits les modestes bâtiments du collège reçut elle-même le nom de Cambridge, pour marquer la noble ambition qui animait ses fondateurs; et aujourd'hui, en effet, le « quadrangle » du collège couvre, à Harvard square, près de dix hectares, sur lesquels s'élèvent deux chapelles, sept dortoirs, cinq vastes maisons d'habitation, cinq grands buildings remplis de salles de cours et de laboratoires, le beau building en granit logeant la biblio-

thèque et connu sous le nom de Gore hall, sans parler du

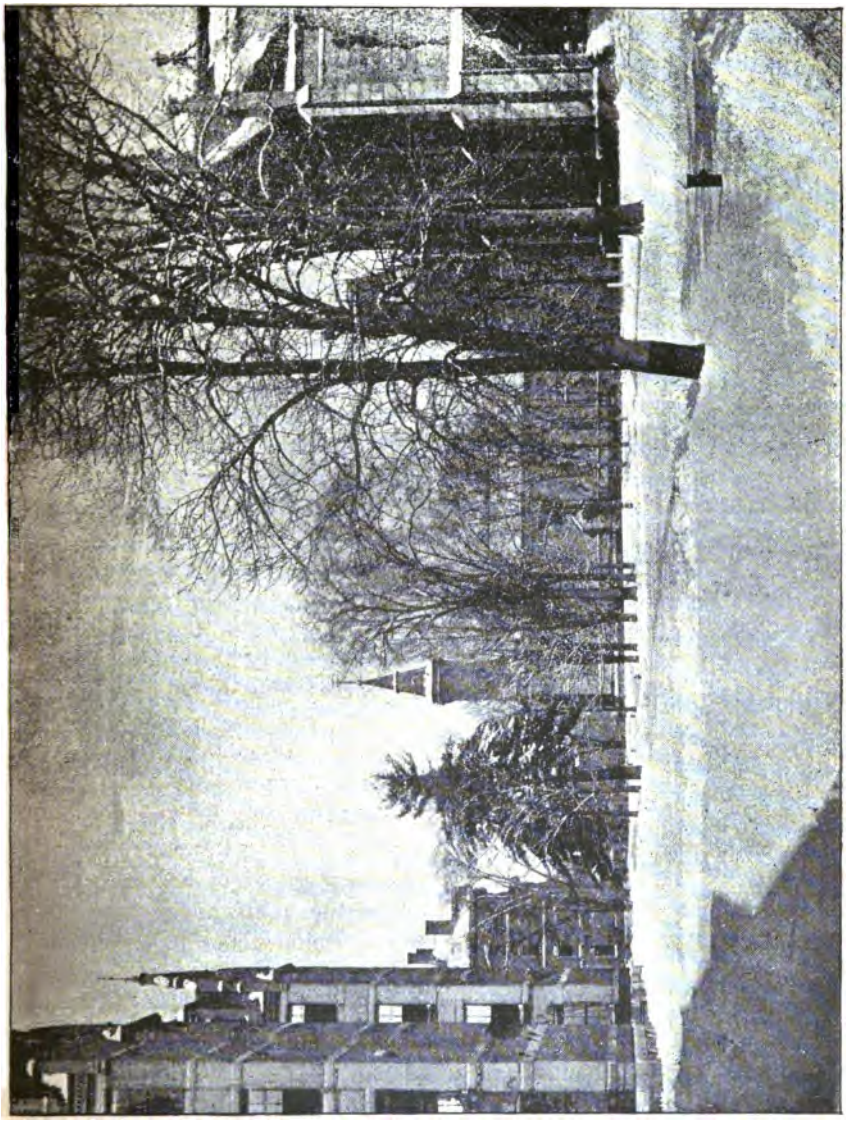


Fig. 18. — Cambridge (près Boston). — Collège Harvard. — Le « quadrangle ».

vieux building de l'école de droit Dane. Et tous ces bâtiments

représentent à peine la moitié de ceux qui appartiennent au collège : il faut y joindre sur la grande avenue d'autres dortoirs, à quelque distance au nord, l'imposant « memorial hall », le gymnase, la nouvelle école de lois, l'école de théologie avec sa récente bibliothèque, l'école scientifique et les musées; plus loin, l'observatoire et les jardins botaniques, plus loin encore, dans Boston même, l'école de médecine et l'école dentaire; au delà, enfin, la ferme-école et l'école de médecine vétérinaire.

Deux mille étudiants animent ces vastes constructions; ils reçoivent l'instruction de soixante-deux professeurs, de vingt-trois professeurs assistants, de cinq lecteurs, trois tuteurs, cinquante-neuf instructeurs, trente-quatre assistants, auxquels il faut joindre les bibliothécaires, etc., ce qui porte le nombre total des maîtres à plus de deux cents.

Le budget annuel est d'un million de dollars (cinq millions de francs); et pourtant, avec ce beau revenu, Harvard se suffit à peine. Malgré la prudente administration du conseil et l'habile gestion du trésorier qui fait rendre à ses fonds plus de cinq pour cent, les coffres seraient toujours vides, si la générosité des « fils de Harvard » ne s'empressait pas de les remplir. Tant la vie circule intense dans tous les organes du corps universitaire!

Quant aux résultats, les Américains s'en applaudissent avec raison. Il est certain que les docteurs ès sciences de Harvard (pour ne parler que de ceux-là) n'ont aujourd'hui rien à envier à ceux de l'Angleterre ou du continent. Je ne veux point dire par là qu'ils soient identiques. Sans doute actuellement, avec la prompte diffusion des idées par les journaux et les livres, par les congrès, par les rapports de toutes sortes que la facilité et la rapidité sans cesse croissantes des communications établissent entre les hommes qui pensent, le haut enseignement doit être partout le même dans ses lignes essentielles. Mais, sur ce fond commun, chaque peuple imprime sa marque personnelle, et aucun n'est plus jaloux d'y mettre la sienne que le peuple des États-Unis. L'Américain apporte à la culture scientifique les qualités de la race : énergie patiente, promptitude du coup d'œil, imagination inventive, sens pratique,

qui sait tirer de la science des applications, et des dollars.

Dans toute université américaine bien comprise, les performances physiques ne sauraient non plus être négligées. Un entraînement méthodique a spécialement pour objet d'entretenir la beauté et la pureté des formes. On prend soin de mesurer et de photographier les étudiants par intervalles réguliers, afin de contrôler expérimentalement les résultats progressifs du système. C'est la conception antique de l'homme accompli, à la fois beau et sage, le type grec retour d'Amérique. N'y a-t-il pas aussi à New-York une école de beauté pour les dames, où elles apprennent à marcher, à parler et même à dormir avec grâce ?

Je vous disais tout à l'heure que le budget de Harvard montait à cinq millions. Ne croyez pas qu'il s'agisse là d'une exception. C'est vraiment un trait original de la démocratie américaine que sa préoccupation constante d'encourager l'aristocratie du savoir.

Le haut enseignement est presque uniquement l'œuvre des particuliers qui l'ont constitué à l'origine, l'entretiennent richement de leurs deniers et l'accroissent sans cesse par des fondations nouvelles. Son budget du dernier exercice, mentionné dans les documents officiels, dépassait seize millions et demi de dollars (quatre-vingts millions de francs). Ces millions sont sortis spontanément du comptoir, de la ferme, ou de l'usine, et la généreuse initiative des donateurs ne se lasse pas.

Viennent donc les étudiants; ce ne sont pas les Américains qui se plaindront de voir l'homme des champs émigrer vers les villes, car « la cité offre à chacun de ses habitants les inappréciables bienfaits de la société ». Si l'agriculture manque de bras, qu'elle prenne des machines. « Moins de personnes seront employées à fournir les matériaux bruts de l'existence, plus on en aura d'occupées au développement du confort, de l'art et du bien-être spirituel. » Évidemment, il n'y a pas de déclassés aux États-Unis.

Sous l'influence d'idées aussi catégoriques, le cercle des hautes études s'est singulièrement élargi, depuis ces derniers temps surtout, et les universités américaines se sont multipliées à l'envi. Nul n'ignore qu'il faut distinguer dans le

nombre. Quelques-unes, principalement parmi les nouvelles, malgré le patronage officiel et les dotations de l'État, promettent peut-être plus qu'elles ne donnent. L'Europe n'a pas le monopole des programmes grandioses sur le papier. D'autres, au contraire, avec leur nom modeste de collège et leur indépendance complète, sont des universités de premier ordre. Naturellement, les grades diffèrent de valeur suivant la qualité variable des corps enseignants qui les accordent. On assure même que, dans certains établissements d'instruction soi-disant supérieurs, les diplômes s'acquièrent souvent par des moyens auxquels la science paraît étrangère et sont conférés, disons, si vous voulez, *honoris causa*. Ce sont là des abus inséparables de la liberté. Les gradués d'Amérique, dont l'intérêt est d'éviter toute équivoque, mentionnent simplement la provenance de leurs grades : cela suffit.

Cette organisation spontanée de l'enseignement supérieur aux États-Unis peut manquer d'ensemble : rien d'harmonieux, ni de symétrique ; on a voulu faire vite et beaucoup. Mais quelle vitalité puissante dans l'élan tumultueux des bonnes volontés ! Quel progrès constant des études scientifiques, même parmi les fondations récentes ! Quelle généreuse ardeur à lutter avec les rivales des États de l'Est, qui possèdent l'avantage de l'expérience et le prestige des services antérieurs ! Pour peu qu'une méthode sûre coordonne et dirige les efforts, le succès y répondra encore mieux.

Parmi ces jeunes universités d'Amérique qui s'efforcent de suivre les traces de leurs devancières, je vous citerai l'université Leland Stanford junior, fondée en 1891, à Palo Alto, avec une dotation privée de trente millions de dollars (cent cinquante millions de francs), et peuplée de six cents étudiants, dont deux cents femmes : Palo Alto n'est qu'à quelques lieues de Berkeley, le siège de la très florissante université de Californie. Au début, celle-ci a reçu de l'Union des terres qu'elle a vendues dans de bonnes conditions et dont le prix, avec les dotations qui sont venues s'y ajouter, lui constitue un capital de sept millions de dollars (trente-cinq millions de francs). Au revenu annuel de cette somme s'ajoute le un pour cent des impôts de l'État de Californie. Berkeley nous offre une institu-

tion spéciale que nous ne sommes pas habitués à voir figurer parmi les facultés proprement dites : elle possède une école d'agriculture, à laquelle sont annexées dix fermes, situées dans les contrées les plus variées de la Californie. Instruite par ses propres essais, l'école se charge d'analyser les terres, d'indiquer aux intéressés les espèces de cultures qui conviennent le mieux suivant la nature du sol, et de leur fournir gratuitement les semences ou les plants nécessaires. Même organisation à Palo Alto.

Au premier rang de ces spécialités universitaires où se manifeste le sens pratique des Yankees, il faut mentionner les écoles dentaires, qui existent dans la plupart des collèges américains. Harvard même a la sienne. Celle de Philadelphie est la plus célèbre par la perfection de sa méthode opératoire, le luxe de son installation, et l'importance de ses travaux. Vingt mille patients sont énumérés dans les comptes du dernier exercice, pendant lequel six livres d'or ont été employées à l'aurification des dents. L'enseignement, très complet, constitue une faculté véritable, qui ne comprend pas moins de sept chaires distinctes. Une foule d'étrangers viennent, de l'Europe entière et des Indes, prendre leurs grades à Philadelphie. Les Américains sont les premiers dentistes du monde.

Un Français qui visite les États-Unis ne peut manquer d'aller au Canada. Là aussi, l'instruction supérieure est très florissante et richement dotée. Le collège M'Gill, à Montréal, vient de recevoir de M. M'Donald deux beaux bâtiments, l'un pour le génie civil, l'autre pour la physique (*Pl. VII*), agencés avec une ampleur grandiose et une intelligence parfaite des nécessités de la science moderne. Voici, par exemple, dans le laboratoire de thermodynamique, une machine à vapeur de 100 chevaux (*Pl. VIII*), disposée de façon à permettre toutes les mesures de chaleur et de travail dans les conditions les plus variées de pression, de détente, de condensation. Montréal est, en outre, le siège d'une université catholique, tenue par les Sulpiciens sous la haute direction de M. l'abbé de Foville. La capitale de la province, Québec, possède l'université Laval, présidée avec autant de zèle que de savoir par M. l'abbé

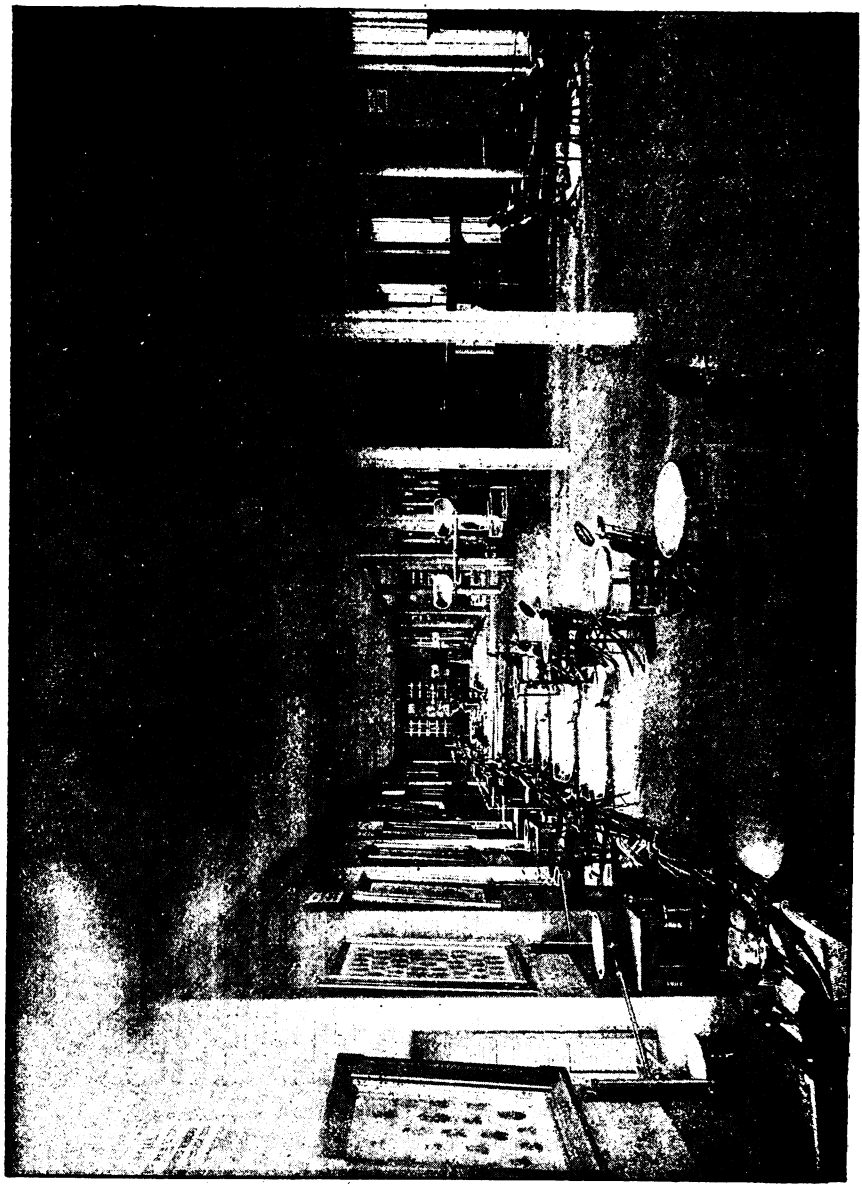


Fig. 19. — Philadelphie. — Université de Pensylvanie. — Salle des opérations dentaires.

Laflamme. Citons encore l'université de Toronto, à côté de laquelle se trouvent le Bureau du temps, dirigé par M. Carpmaël, et l'école de science pratique, ayant pour principal M. le professeur Galbraith.

Des écoles techniques du Canada, il faudrait rapprocher les

Fig. 20.

Québec. — Collège Laval.

fondations similaires des États-Unis, telles que l'institut technologique de Boston, aussi bien que le collège Girard, de Philadelphie.

Nous voici de retour dans ces nobles cités de l'Est qui tiennent à honneur de conserver, en marchant à la conquête

du progrès scientifique, le rôle glorieux qu'elles ont joué jadis dans la lutte pour l'indépendance. Les établissements de haut enseignement de Philadelphie mériteraient, à ce titre, une étude spéciale, ainsi que le *Columbia College* de New York. Et pourtant les grands foyers des États de l'Est, parmi lesquels nous avons déjà mentionné, en première ligne, l'université Johns Hopkins, à Baltimore, sont peut-être moins intéressants encore pour l'Européen que les universités récentes, comme celle de Denver, par exemple, où je trouve pour cicerone une très aimable jeune fille, assez instruite, bien que prenant mon français pour de l'allemand : notre langue est cependant, en général, mieux connue des graduées américaines.

Vous savez, en effet, Messieurs, avec quelle ardeur réfléchie et quel zèle constant les femmes, aux États-Unis, s'empressent de participer à l'instruction supérieure qui leur est largement ouverte. Le mouvement ne se ralentit pas, au contraire. Chaque jour voit augmenter le nombre de celles qui apprennent les mathématiques, la physique, le droit, la médecine, le latin, voire même le grec. Les programmes des études et des examens sont d'ailleurs habituellement identiques pour les deux sexes, soit dans le système de la coéducation, très pratiqué, soit dans les cours spéciaux.

Je ne vous étonnerai pas en vous disant que les jeunes étudiantes ont grandement profité de cet enseignement élevé : elles y apportent toutes leurs qualités spéciales avec le vif désir de s'instruire et le ferme propos de conquérir l'égalité sociale, dont l'égalité scolaire n'est pour elles que le prélude. Sans rien perdre de leurs grâces natives, elles ont acquis les qualités les plus solides et les plus variées, qui font aujourd'hui de la conversation des femmes américaines le charme le plus vif de la société aux États-Unis.

Et, pourtant, ce système d'éducation intensive appellerait peut-être quelques réserves. Mais je me garderai bien de m'aventurer sur un terrain périlleux où, depuis qu'il y a tant d'avocats féminins, on risque fort d'être deux fois battu. Je préfère m'abriter bravement sous l'autorité d'un savant docteur des États-Unis, un docteur masculin celui-là, qui indique quelques ombres au brillant tableau de l'éducation féminine

américaine. L'impitoyable docteur, armé de ses statistiques, prétend prouver que, plus le niveau intellectuel de la femme s'élève, plus le chiffre de la natalité tend à descendre. Si l'on ne modifie pas ce qu'il croit être la source du mal, il voit déjà la race destinée à prendre fin dans ce qu'il appelle « une apothéose intellectuelle ».

Si l'Amérique est pour nous comme le miroir magique où nous pouvons saisir l'image de nos destinées, ce pronostic funèbre nous donnerait singulièrement à réfléchir. Mais sommes-nous vraiment si fort en danger de périr dans une crise d'hypertrophie intellectuelle? Beaucoup de symptômes de par le monde donnent à penser que nous ne touchons pas encore à l'apothéose finale.

Si nous ne marchandons pas notre admiration à la rivalité généreuse des universités anciennes et modernes, à l'activité des laboratoires, aussi habilement organisés que richement pourvus, nous devons reconnaître que le Nouveau-Monde offrait aux efforts humains de puissants instruments de travail et un cadre vraiment merveilleux.

Fleuves immenses déroulant leurs eaux en nappes majestueuses, ou se précipitant par bonds gigantesques, lacs profonds qui sont de véritables mers intérieures, plaines sans limites, gorges sauvages taillées à pic, dont l'œil sonde à peine les abîmes, entassements prodigieux de rochers, volcans menaçants et geysers étranges, gisements miniers de toute espèce, arbres de toute essence, flore et faune d'une incomparable richesse, variété infinie de climats, suivant toute l'échelle des températures, depuis la chaleur tropicale jusqu'au froid polaire, et offrant tour à tour des spectacles d'une sublime beauté ou d'une indicible horreur; tant de contrastes et de merveilles, réunis comme par un privilège unique, font du continent américain le laboratoire le plus admirable et le champ d'expériences le plus vaste, le plus largement ouvert aux explorations des naturalistes.

Certes, les savants américains n'ont pas manqué à la nature si généreuse envers eux. Zoologistes, botanistes et géologues ont toujours rivalisé de zèle et de talents pour étudier les

trésors qu'elle leur prodigue. Agassiz illustra dans le Nouveau-Monde son nom déjà illustre en Europe. A une haute valeur professionnelle, il alliait le culte désintéressé de la science; les offres les plus brillantes ne purent le décider à quitter sa patrie d'adoption. Aujourd'hui, M. Mark, de Harvard, M. Sedgwick-Minot, de Chicago, M. Wilson et leurs émules continuent de perfectionner et de répandre les connaissances zoologiques, dont ils sont les dignes représentants aux États-Unis. M. Arthur, M. Farlow et M. Thaxter, de Harvard, poursuivent avec succès en botanique l'œuvre considérable d'Asa Gray. Les ouvrages du célèbre géologue Dana ont eu chez nous les honneurs d'une édition populaire. Sans trêve, le sol est fouillé par d'éminents paléontologistes, parmi lesquels le professeur Cope se place au premier rang. Ils classent et interprètent les débris du passé. Leurs recherches mettent au jour des reptiles monstres, longs de vingt mètres, enfouis dans les montagnes Rocheuses. Il faut citer aussi les savantes études de l'institution Smithsonienne sur les races et les habitants primitifs de l'Amérique. Il faudrait surtout pouvoir montrer les jardins botaniques, les musées d'histoire naturelle, d'anthropologie, d'ethnographie, etc., les collections précieuses du service géologique de Washington, dirigé magistralement par M. J.-W. Powell, celles du service entomologique, auquel M. Riley a su donner une si heureuse extension.

En dépit des efforts et des mérites, l'énormité du cadre écrase le travail de l'homme. A côté des richesses inépuisables de la nature, les résultats de la science doivent sembler mesquins. Quand la fertilité du terroir promet une récolte exceptionnellement luxuriante, on est toujours tenté de croire que les moissonneurs, même les plus actifs, n'ont fait que glaner.

Il y a peu de temps, les Américains ignoraient encore l'une des principales curiosités de leur pays. L'expédition scientifique qui procéda, sous la conduite du professeur Hayden, à la reconnaissance méthodique du Yellowstone, ne remonte pas à vingt-cinq années, et c'est seulement en 1872 que cette région, si remarquable par ses geysers, fut déclarée propriété fédérale, et, selon les termes de la loi, « érigée en parc public ou jardin d'agrément pour l'avantage et la jouissance de la

nation ». Dans quelle mesure les agréments du jardin sont-ils goûtés par la nation américaine? Ce n'est pas à nous de le dire. La foule préfère habituellement des beautés d'ordre moins sévère. Mais un parc national en Amérique ne pouvait pas ressembler à cette petite chose peignée et jolie qui charme les Londoniens, avec ses allées artistement dessinées et sa verdure correcte. Au Yellowstone, dont la superficie entière dépasse celle de la Belgique, la nature se montre sans ornements, dans le désordre de sa sauvage grandeur. Je me garderai bien de revenir sur une description déjà faite plusieurs fois. Du reste, les gorges abruptes, les torrents et les cascades qu'on admire au pied des montagnes Rocheuses ne paraissent pas différer essentiellement de ce qui existe ailleurs dans le même genre. Le sud de la France et l'Algérie offrent d'aussi imposants spectacles à ceux qui savent les chercher.

La particularité vraiment curieuse du Yellowstone est le geyser : un bassin d'eau chaude, intérieurement tapissé de stalactites blanches que le regard peut suivre très loin à travers la transparence bleue du liquide, puis au fond un abîme noir. Ce bassin est parfaitement paisible et, malgré la vapeur abondante qui s'en dégage, son aspect n'annonce rien de menaçant. Soudain, il frémit, il gronde, l'eau se soulève, retombe, remonte encore, et finalement jaillit en gerbe puissante. L'éruption dure quelques instants, puis le calme se rétablit, et les mêmes alternatives de repos et d'agitation recommencent par intervalles réguliers. Toutes les soixante-cinq minutes le « vieux fidèle » lance, pendant cinq minutes, une colonne d'eau et de vapeur qui atteint quarante mètres.

On trouve réunies dans le parc national les variétés les plus diverses de geysers aux différents âges de leur vie; jets de vapeur continus, petites marmites crachant drôlement toutes les minutes, grands geysers à longue période (plusieurs jours, plusieurs mois, des années), « pots de peinture » dans lesquels clapote une sorte de boue jaune, verte ou rouge, sources chaudes, lacs dans lesquels toute éruption a cessé. Quelques-uns de ces lacs sont d'une beauté idéale, et méritent bien leurs noms d' « émeraude », de « joyau », de « beauté », de « gloire du matin », et autres appellations poétiques. Sur le lac « pris-

matique », flottent des vapeurs dont les nuances admirables

Fig. 21.

Parc national du Yellowstone. — Geyser « le vieux fidèle ».

tiennent en partie aux colorations variées de ses bords, en partie aussi aux teintes d'arc-en-ciel que reflètent les goutte-

lettes de différents diamètres produites par la condensation de la vapeur.

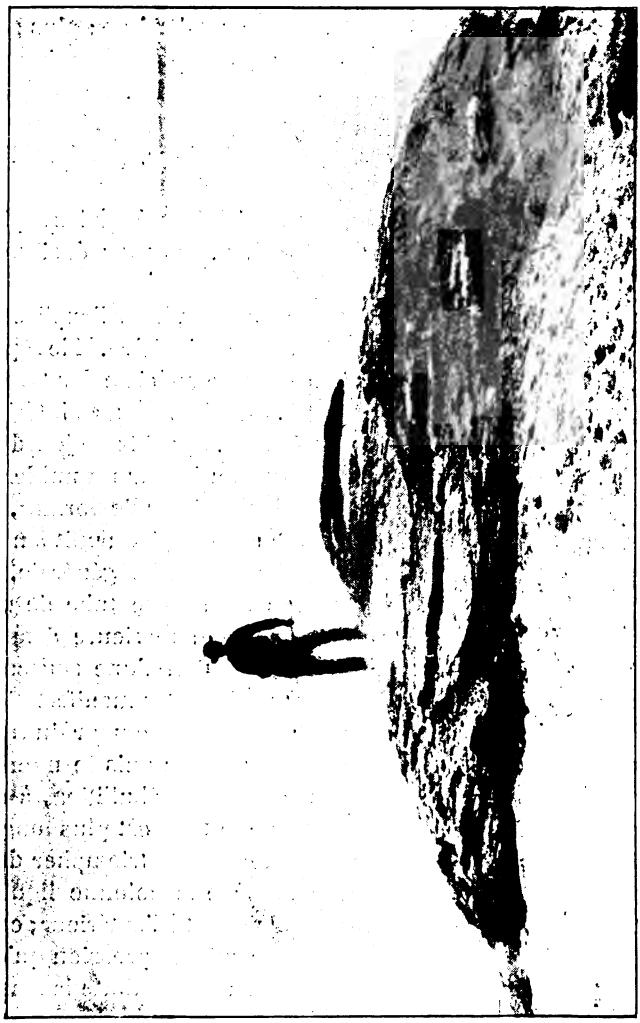


Fig. 22. Parc national du Yellowstone. — Le « cône de la source chaude ».

Un des plus curieux geysers se trouve dans une petite île au bord du lac du Yellowstone (deux mille quatre cents mètres au-dessus du niveau de la mer); c'est une marmite

d'eau bouillante, dans laquelle le pêcheur peut, sans se déranger, faire cuire la truite encore suspendue à sa ligne qu'il vient de retirer du lac.

Parfois le bassin du geyser affleure au sol même ; plus souvent il est enfermé dans un cratère de forme volcanique en geysérite blanche, imitant le névé d'un glacier. La température du lieu contribue à l'illusion ; elle ne dépassait pas huit degrés au mois de septembre, en plein jour, pendant l'été brûlant de 1893.

Comme cadre général, imaginez un site désolé, où les sapins, de taille médiocre, émergent entre deux ou trois épaisseurs d'arbres morts.

Quant au phénomène du geyser en lui-même, l'explication donnée par M. Bunsen parait être trop particulière. Elle repose principalement sur une distribution toute spéciale des températures qu'il avait observée, avec M. des Cloizeaux, à l'intérieur du grand geyser d'Islande, l'ancienne merveille aujourd'hui déchue. Mais le Yellowstone contient au moins un millier de geysers en activité, offrant toutes les variétés de formes, de puissances, de période : cette seule constatation suffit à montrer que le phénomène doit avoir une cause plus générale. Et, en effet, j'ai pu le reproduire avec un simple tube de métal rempli d'eau, s'ouvrant par la partie supérieure dans un large bassin, et soumis par en bas à l'action d'une source de chaleur telle qu'il faut bien l'admettre dans ces manifestations volcaniques ; l'eau s'échauffe sur toute la longueur du tube, mais particulièrement au voisinage du foyer ; puis le moment arrive où les couches profondes entrent en ébullition, à une température d'autant plus élevée que le tube est plus long, la tension de la vapeur d'eau bouillante devant triompher de la pression supportée. La vapeur soulève la colonne liquide, dont les couches superficielles se déversent à l'extérieur ; cette colonne devient moins longue, et par suite la pression qu'elle exerce diminue. Une ébullition se déclare dans toute la masse, comme dans l'eau d'une chaudière dont on ouvre la soupape : un mélange d'eau et de vapeur jaillit, jusqu'à ce que l'excès de tension intérieure ait disparu. Alors le calme se rétablit, l'eau recueillie par le bassin supérieur rentre dans le tube,

ainsi que cela se passe effectivement pour le geyser dit « économique » précisément parce qu'il réabsorbe tout ce qu'il a

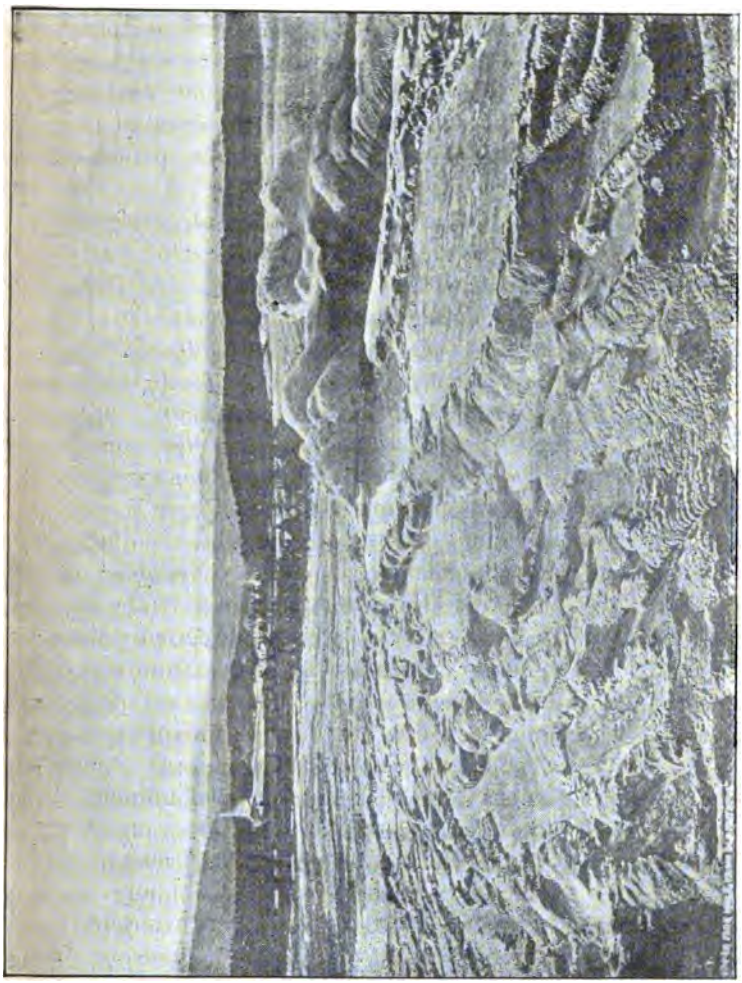
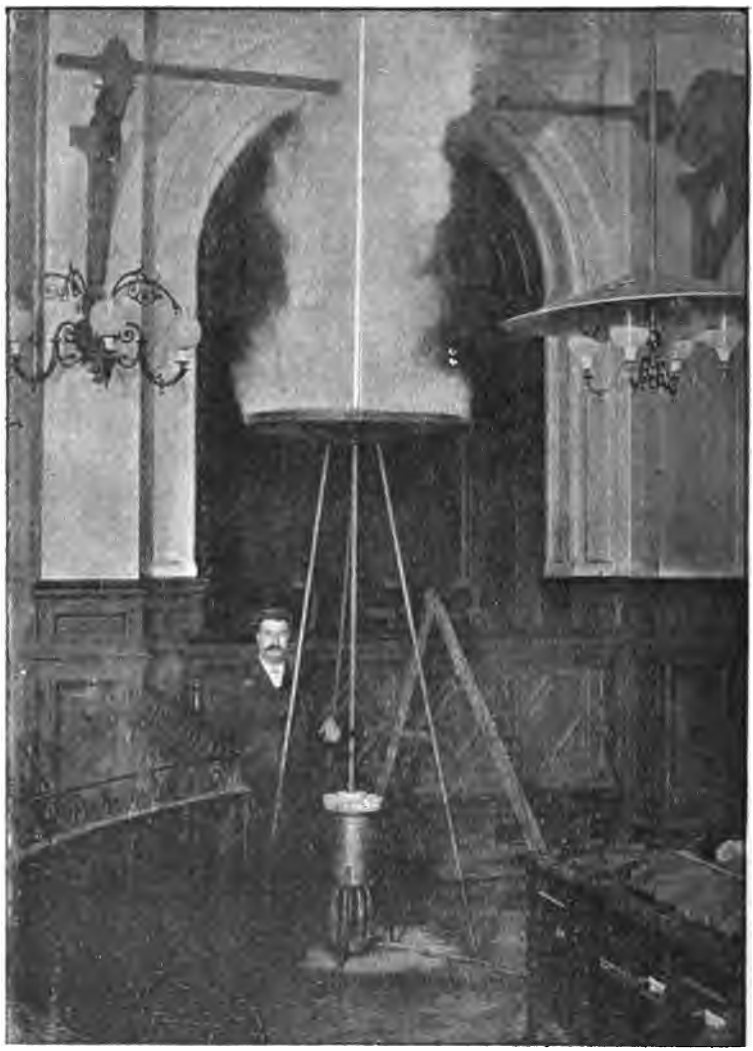


Fig. 23. Parc national du Yellowstone. — Bassin supérieur.

lancé au dehors. La source de chaleur étant maintenue dans le même état, l'éruption, comme vous le voyez, se reproduit périodiquement.

En modifiant la longueur, la largeur, la disposition du tube,

Fig. 24.



Appareil imitant le geyser.

on pourrait imiter les différentes variétés de geysers. Quelle

que soit leur forme, quel que soit leur système d'alimentation et de chauffage, quel que soit leur mode d'éruption, dès que celle-ci a pris fin, les choses reviennent promptement aux conditions antérieures, qui ramènent naturellement le même phénomène.

Si nous considérons l'ensemble des faits dont je n'ai pu vous tracer qu'une ébauche incomplète, si nous résumons tout ce mouvement scientifique, en songeant aux conditions dans lesquelles il s'est opéré, aux difficultés du début, à l'énergie des efforts accomplis, à la grandeur du but atteint, si nous réfléchissons à la nature de ce mouvement qui, obéissant à une volonté inébranlable, va toujours s'accélérant, il est impossible, Messieurs, que nous n'en soyons pas frappés et que nous n'en tirions pas une salutaire leçon de choses.

Avons-nous assez d'initiative, assez de persévérance dans l'effort, assez d'esprit de sacrifice pour ce qui est vraiment utile?

Ne traitons-nous pas un peu trop la science en divinité, lui demandant beaucoup et lui donnant peu?

La grande voix de M. Pasteur qui, quelques années avant la guerre, s'élevait en faveur de « ces demeures sacrées que l'on désigne sous le nom expressif de laboratoires, de ces temples où l'humanité grandit, se fortifie, devient meilleure », cette grande voix a-t-elle été suffisamment entendue?

L'Amérique n'a déjà que trop d'avantages sur nous. Nos intérêts les plus chers nous commandent d'employer tous nos efforts à conserver ceux que nous pouvons encore avoir sur elle. La haute culture intellectuelle n'est pas seulement une question de luxe élégant ou de vanité nationale. Un simple regard, jeté sur les diverses nations des deux mondes, nous fait voir que la prospérité et l'avenir même du pays dépendent du progrès scientifique, à la fois glorieux et profitable pour tous.

PROGRAMME, POUR L'ANNÉE 1894-95,

DES COURS PUBLICS ET GRATUITS DE HAUT ENSEIGNEMENT

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS (1).

Géométrie appliquée aux Arts (les lundis et jeudis, à neuf heures). — M. le Colonel A. Laussedat, professeur; M. Ch. Brisse, professeur suppléant.

Géométrie de la sphère. — Globe céleste et planisphères. — Étude des phénomènes astronomiques. — Instruments d'observation. — Mesure du temps. — Cadrans solaires, horloges et chronomètres. — Calendrier. — Photographie et spectroscopie célestes. — Application de l'Astronomie à la Géographie et à la Navigation.

Géométrie descriptive (les lundis et jeudis, à sept heures trois quarts). — M. E. Rouché, professeur.

Les principes fondamentaux de l'art du trait : ligne droite et plan, cônes et cylindres, surfaces de révolution et surfaces gauches usuelles. — La théorie des ombres et la perspective cavalière.

Mécanique appliquée aux Arts (les lundis et jeudis, à sept heures trois quarts). — M. J. Hirsch, professeur.

Générateurs de vapeur. — Propriétés physiques de la vapeur d'eau. — Combustion; combustibles; foyers; fourneaux; cheminées. — Principes de la production de la vapeur. — Chaudières; dispositions; construction; garnitures et accessoires. — Canalisations de vapeur.

Constructions civiles (les lundis et jeudis, à neuf heures). — M. J. Pillet, professeur.

Stabilité des constructions. — I. *Statique graphique :* Composition et décomposition des forces. — Moments d'inertie. — II. *Résistance des*

---

(1) Tous ces cours ont lieu le soir et leur durée réglementaire s'étend du 3 novembre au 30 avril.

matériaux : Compression et traction, glissement. — Flexion, torsion. — III. *Résistance et stabilité des organes isolés :* Poutres à une ou plusieurs travées. — Supports isolés. — IV. *Résistance et stabilité des systèmes d'organes :* Planchers, combles, arcs. — V. *Résistance et stabilité des massifs :* Poussée des terres, poussée des eaux; murs, voûtes.

Physique appliquée aux Arts (les lundis et jeudis, à neuf heures). — M. J. VIOLLE, professeur.

Acoustique. — Mouvements vibratoires. — Production et propagation du son. — Intervalles musicaux. — Tuyaux sonores. — Cordes, verges, membranes, plaques, cloches. — Voix humaine. — Phonographe.

Optique. — Miroirs, prismes, lentilles. — Instruments d'optique. — Interférences. — Diffraction. — Polarisation. — Saccharimètres. — Radiations. — Spectroscopie. — Photométrie. — Photographie.

Électricité industrielle (les mercredis et samedis, à sept heures trois quarts). — M. Marcel DEPREZ, professeur.

Étude des lois fondamentales de l'électricité et du magnétisme au point de vue spécial de leur application à l'industrie. — Lois de la transmission de l'énergie sous toutes ses formes au moyen de l'électricité. — Appareils destinés à la mesure des grandeurs électriques. — Théorie générale des machines destinées à produire un courant électrique au moyen d'un travail mécanique ou inversement.

Chimie générale dans ses rapports avec l'Industrie (les mercredis et samedis, à neuf heures). — M. É. JUNGFLEISCH, professeur.

Métaux. — Généralités sur les métaux; classification des métaux; combinaisons des métaux avec les métalloïdes et combinaisons salines; alliages. — Histoire particulière des métaux utiles : modes d'extraction, propriétés, combinaisons diverses, applications, notions analytiques.

Chimie industrielle (les mardis et vendredis, à neuf heures). — M. Aimé GIRARD, professeur; M. E. SOREL, professeur suppléant.

Fabrication des produits chimiques. — Matières premières : pyrites, sel, composés ammoniacaux. — Fabrication de l'acide sulfurique. — Industrie soudière. — Chlorures décolorants. — Potasses. — Nitrates. — Phosphates et engrais chimiques. — Soufre, sulfure de carbone, sulfocarbonates. — Prussiates. — Aluns. — Produits divers.

Métallurgie et Travail des métaux (les mardis et vendredis, à sept heures trois quarts). — M. U. Le Verrier, professeur.

Propriétés physiques, mécaniques et chimiques des métaux et de leurs alliages. — Procédés d'affinage. — Emploi de chaque métal dans les principales industries.

Chimie appliquée aux industries de la Teinture, de la Céramique et de la Verrerie (les lundis et jeudis, à sept heures trois quarts). — M. V. de Luynes, professeur.

Matières colorantes naturelles et artificielles. — Classification. — Caractères chimiques des fibres végétales et animales. — Opérations préliminaires de la teinture et de l'impression. — Blanchiment. — Mordants, épaississants. — Matériel de la teinture et de l'impression. — Des différents genres d'impression. — Papiers peints.

Chimie agricole et Analyse chimique (les mercredis et samedis, à neuf heures). — M. Th. Schlœsing, professeur.

Nutrition des plantes. — Engrais. — Assolements.
Extraction et dosage des principes immédiats généralement répandus dans les végétaux.

Agriculture (les mardis et vendredis, à neuf heures). — M. L. Grandeau, professeur.

Conditions fondamentales de la production agricole. — Sols. — Labours. — Engrais. — Semences. — Cultures expérimentales du Parc des Princes. — Céréales. — Plantes sarclées. — La culture du blé en France.

Travaux agricoles et Génie rural (les mercredis et samedis, à sept heures trois quarts) — M. Ch. de Comberousse, professeur.

Hygiène du cultivateur.
Météorologie et hydrologie agricoles. — Étude de l'atmosphère, prévision du temps. — Des eaux souterraines et superficielles. — Déboisement et reboisement. — Travail mécanique et chimique de l'eau.

Filature et Tissage (les mardis et vendredis, à sept heures trois quarts). — M. J. Imbs, professeur.

Tissus et métiers à plusieurs navettes. — Tissus en armures composées. — Velours divers. — Mécaniques Jacquard et tissus façonnés. — Gazes, tulles et dentelles — Tricots de trame et de chaîne. — Apprêts des tissus.

Économie politique et Législation industrielle (les mardis et vendredis, à sept heures trois quarts). — **M. É. Levasseur**, professeur.

Circulation des richesses. — La valeur. — La monnaie. — L'histoire des prix. — La cherté et le bon marché. — Le crédit, les banques et la circulation fiduciaire. — L'influence des moyens de communication. — Le commerce et les tarifs de douanes.

Économie industrielle et Statistique (les mardis et vendredis, à neuf heures). — **M. André Liesse**, professeur.

Classification des industries. — La grande industrie et le développement des machines. — La petite industrie. — L'entreprise industrielle et les éléments du prix de revient. — Les moyens d'information et la statistique. — Généralités sur les crises industrielles et commerciales.

Droit commercial (les mercredis, à neuf heures). — **M. É. Alglave**, chargé de cours.

Les commerçants et les actes de commerce. — Les contrats commerciaux comparés aux contrats civils ordinaires. — Bourses de commerce. — Tribunaux de commerce et conseils de prud'hommes.

Économie sociale (les samedis, à neuf heures). — **M. P. Beauregard**, chargé de cours.

L'Économie sociale : But, procédés. — *Législation du salaire et du contrat de travail :* Droit commun et privilèges; grèves et conciliation; réglementation du travail; accidents; syndicats professionnels et bourses de travail.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS

LE TOME SIXIÈME DE LA DEUXIÈME SÉRIE.

Pages.

Les applications de la perspective au lever des plans (4e article), par M. le Colonel A. LAUSSEDAT 1

Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques. — Troisième conférence : Les tables graphiques ou abaques; la nomographie, par M. Maurice D'OCAGNE 42

Les applications de la perspective au lever des plans (5e article), par M. le Colonel A. LAUSSEDAT 81

L'exposition de Chicago. — Coup d'œil sur l'ensemble de l'exposition, par M. Émile LEVASSEUR 113

La Mécanique générale à l'exposition de Chicago, par M. Gustave RICHARD 144

L'Agriculture en Amérique (procédés et machines), par M. Maximilien RINGELMANN 208

Le mouvement scientifique aux États-Unis, par M. Jules VIOLLE 253

Programme des cours du Conservatoire des Arts et Métiers, pour l'année 1894-1895 314

PLANCHES.

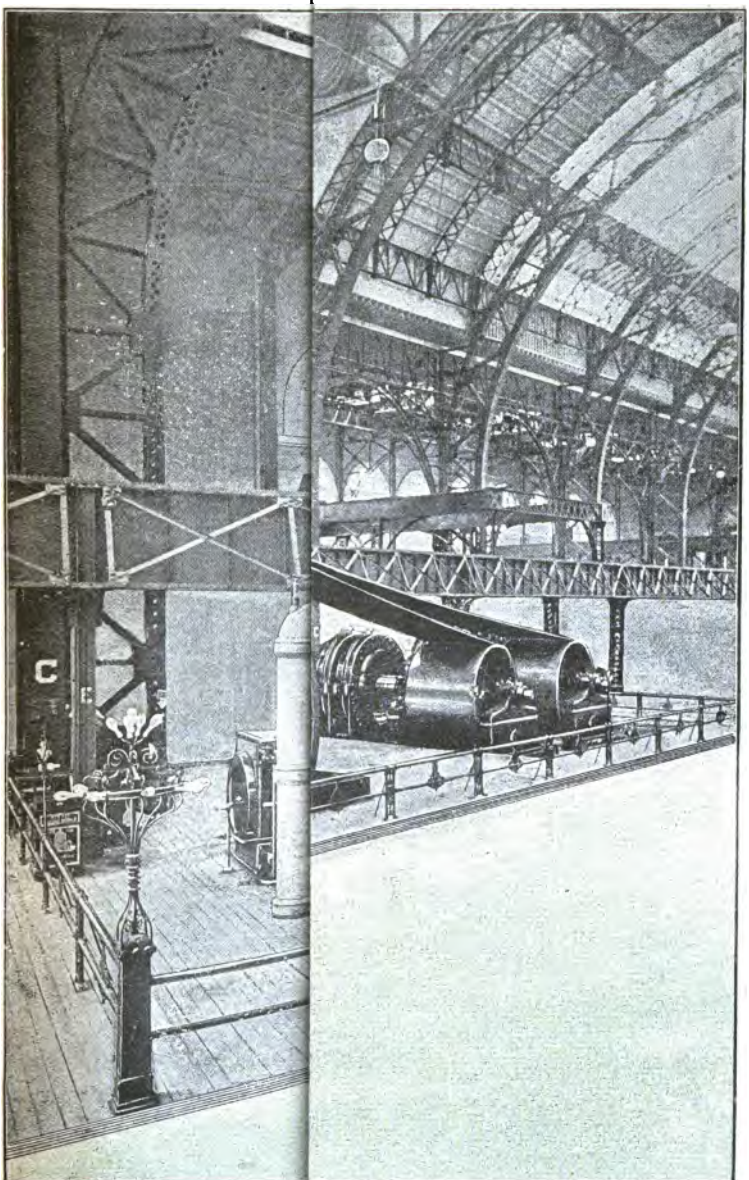
Pl. I et II. — Les applications de la perspective au lever des plans.

Pl. III et IV. — Le calcul simplifié.

Pl. V. — Coup d'œil d'ensemble sur l'exposition de Chicago.

Pl. VI, VII et VIII. — Le mouvement scientifique aux États-Unis.

Paris. — Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Grands-Augustins.



nie Allis.

titut de Mac Donald.